Beiträge zur Morphologie der Polygala Senega L.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Philosophischen Doktorwürde

der

Hohen Philosophischen Fakultät

der

Universität Basel

vorgelegt von

Emil Steiger

Apotheker

aus Basel

BERLIN

Verlag von Gebrüder Borntraeger

W 35 Schöneberger Ufer 12a

1920

Beiträge zur Morphologie der Polygala Senega L.

Inaugural-Dissertation

zur

Erlangung der Philosophischen Doktorwürde

der

Hohen Philosophischen Fakultät

der

Universität Basel

R. UNIV. BIBLIOTHEEK LEIDEN

vorgelegt von

Emil Steiger
Apotheker
aus Basel

BERLIN
Verlag von Gebrüder Borntraeger
W 35 Schöneberger Ufer 12a
1920

Genehmigt von der mathematisch-naturwissenschaftlichen Abteilung der philosophischen Fakultät auf Antrag der Herren Professoren Dr. H. Zörnig und Dr. G. Senn.

Basel, den 8. Juli 1919.

Prof. Dr. H. Zörnig,
Dekan.

Diese Arbeit erscheint in demselben Wortlaut in den „Berichten der Deutschen Pharmazeutischen Gesellschaft" 1920.

Meinen lieben Eltern gewidmet

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41548209_0036

Inhaltsübersicht.

Seite

Einleitung 3
Geschichte 3
Systematik 9
Handel 11
Morphologie 13
  Droge 13
  Lebende Pflanze 22
    Same 22
    Keimung und Wachstum 23
    Wurzel. Entwicklungsgeschichte 31
    Sproß 43
    Blatt 57
    Blüte. Entwicklungsgeschichte 61
    Same. Entwicklungsgeschichte 65
Schlußbetrachtungen 71
Zusammenfassung der Resultate 75

Vorliegende Arbeit wurde auf Veranlassung und unter Leitung von Prof. Dr. H. Zörnig in der Pharmazeutischen Anstalt der Universität Basel ausgeführt.

Es sei mir gestattet, meinem hochverehrten Lehrer, Herrn Prof. Dr. Zörnig, auch auf diesem Wege für die lebhafte Unterstützung, die er mir bei der Durchführung meiner Arbeit hat zuteil werden lassen, sowie für seine wertvollen Ratschläge und das mir stets bewiesene Wohlwollen meinen aufrichtigen Dank auszusprechen.

Einleitung.

Wohl kaum eine Droge hat ihres anatomischen Baues wegen ein solches Interesse erregt, wohl keine ist so vielfach daraufhin untersucht worden und keine hat so voneinander abweichende Ansichten der Forscher hervorgerufen wie gerade die Senegawurzel.

Es darf auf Grundlage der Literaturangaben angenommen werden, daß allen, die sich bis jetzt mit dem Studium dieser Droge beschäftigten, lebendes Material nicht zur Verfügung stand.

Schon Arthur Meyer und Hartwich haben darauf hingewiesen, daß wohl nur durch entwicklungsgeschichtliche Untersuchungen die Frage des anormalen Wachstums der Senegawurzel völlig gelöst werden könne.

Da uns die Firma Siegfried & Co., Drogenhandlung und Chemische Fabrik in Zofingen, bereitwilligst ihre Kulturen von Polygala Senega zur Verfügung stellte, veranlaßte mich Herr Prof. Zörnig, die Wurzeln dieser Pflanze näher zu untersuchen und außerdem über Entwicklungsgeschichte und Wachstum Näheres zu ermitteln.

Es sei mir gestattet, an dieser Stelle Herrn Dr. Siegfried in Zofingen meinen besten Dank auszudrücken für das bereitwillige Entgegenkommen, das er mir gezeigt hat, und dem allein ich das Zustandekommen dieser Arbeit verdanke.

Geschichte.

Die schon den Alten bekannten, pharmazeutisch verwendeten Polygalaceen (Polygala amara L. und Polygala vulgaris L.) haben ihre Bedeutung für die Medizin erst eigentlich durch das Bekanntwerden von Polygala Senega erlangt. Wie nämlich die vergleichenden Forschungen von Sibtrop und Fraas ergeben haben, handelt es sich beim *πολύγαλον* des Dioskorides

und der Polygala des Plinius wahrscheinlich um eine mediterrane Polygala, vielleicht Polygala venulosa.

In Deutschland beschäftigte sich zuerst Geßner um das Jahr 1595 mit Polygala amara, die er amarella nannte, und deren purgierende Eigenschaften er an sich selbst erfuhr.

Das Interesse für die bei uns vorkommenden Polygala-Arten, speziell P. amara und P. vulgaris, wurde geweckt durch die Kunde von einer in den Vereinigten Staaten vorkommenden Polygala-Art, genannt Polygala Senega.

Die erste Erwähnung der Senegapflanze finden wir bei John Ray (gen. Raius 1628—1705), der sie als „Plantula Marilandica" im Supplementband zu seiner „Historia plantarum" als eine wahrscheinlich zur Familie der Polygalaceen zu rechnende Pflanze anführt[1]).

Im Jahre 1734 lieferte ein Nürnberger Arzt Jakob Treu (Trew) die erste Abbildung der Pflanze, die er Senegau nannte.

Die Senegawurzel war eines der bei den Eingeborenen Nordamerikas gegen den Biß der Klapperschlange verwendeten Volksmittel, das sie ebenso wie die Wurzeln von Aristolochia serpentaria immer bei sich trugen. Namentlich scheint dies bei den jetzt noch nicht völlig ausgestorbenen Seneca-Indianern der Fall gewesen zu sein. Sie gehören einer der fünf „Nationen" des Irokesenstammes an, deren Name noch weiter verewigt wird durch den kleinen Seneca-See im Westen des Staates New-York[2]).

Bei ihnen stand die Wurzel wahrscheinlich schon lange vor der Entdeckung Amerikas in hohem Ansehen, und sie waren eifrig bemüht, das von ihnen verehrte Spezifikum geheimzuhalten. Wurde einer von einer Klapperschlange gebissen, so schluckte er den Saft der gekauten Wurzel und legte letztere auch äußerlich auf die Wunde. Eine andere Verwendungsart bestand darin, daß mit der Wurzel gekochte Milch getrunken wurde, verbunden mit Kataplasmen, die ebenfalls mit Milch bereitet waren[3])[4])[5]).

[1]) John Raius hist. plantar. 1704, suppl. p. 640.
[2]) Flückiger, Pharmakognosie.
[3]) Murray, Apparat. medicaminium 1779, p. 563.
[4]) Plenk, Jos. Jak. 1794, Icones plant. med. p. 549.
[5]) Millers Gärtnerlexikon 1751, p. 151.

Obgleich das aus den Wurzeln bereitete Pulver auch den in Pennsylvanien wohnenden Schweden verkauft wurde[1]), dauerte es doch längere Zeit, bis die Entdeckung der Stammpflanze gelang.

Der schottische Arzt D. J. Tennent in Philadelphia war der erste Europäer, dem es gelang, mit Hilfe einer vom englischen Senat festgesetzten Entschädigung[2])[3]) einwandfrei festzustellen, daß die hervorragenden Kräfte der Wurzel einer Polygala zuzuschreiben seien. Der gleiche Tennent stellte dann auch Versuche bei anderen Krankheiten an, und machte damit bei Pleuritis und Peripneumonie so glückliche Kuren, daß ihm von der Obrigkeit in Philadelphia eine Belohnung von 75 Pfund Sterling zuerteilt wurde. Das Resultat seiner Versuche publizierte er in zwei Schriften[4])[5]) (die ich leider nicht erlangen konnte).

Wenige Jahre später schickte Tennent samt einer Probe Rattle-Snake-root, wie die Pflanze in Amerika genannt wird, einen Bericht über die Gebrauchsart an Richard Mead in Edinburgh[6]), sowie an Jussieu und einige andere Akademiker in Paris[7]), die experimentell seine Erfolge bestätigten. Wie dadurch die Pariser Ärzte auf die entsprechend wirkende Polygala in Europa aufmerksam gemacht wurden, berichtet Samuel Naucler in „Hortus Upsalensis“[8]): „Ubi nuper in Pennsylvania D. J. Tennent vires istius radicis expertus fuit, quam habuere Nationes sylvestres, tamquam specificum aliquod secretum adversus morsum Viperae caudisonae, ac perspexit porro insignem illam huius medicamenti virtutem in febribus inflammatoriis, argumentati sunt illico Parisenses per analogiam affinitatis, sicut esset illa Polygala [caule simplici erecto, foliis ovato-lanceolatis alternis integerrimis, racemo terminatrice erecto] (Gronov.

[1]) Linné, Oratio de tellur. habit. incremento, Ammoenit. accad. Tom. 2.

[2]) Kiernander, Ammoen. accad. Tom. 2 p. 126ff.

[3]) Murray, l. c.

[4]) Essais on the pleuresie, Philadelphia 1736.

[5]) Physical disquisitions 2, London 1735.

[6]) Epistle to Dr. Rich. Mead, Concerning the epidemical diseases of Virginia etc. Edinburgh 1738.

[7]) Murray, App. med. l. c.

[8]) Ammoen. accad. tom. 1, 1745, p. 173.

Virg. 80), ita etiam haud dubie Polygala [per Europeam vulgaris sive Polygala foliis lineari lanceolatis, caulibus diffusis herbaceis] (Virid. Cliff. 70) futurum omnino, ut eodem propemodum usu praestaret. Quin experimentis edocti viderunt, idem feliciter succedere in febribus inflammatoriis[1]).“

Indem durch Tennents Publikationen die hervorragenden Eigenschaften der Senegawurzel bekannt geworden waren, fehlte es nicht an Männern, die nach ihm die Kunde der Wurzel weiter verbreiteten. Unter diesen vor allen D. John Fred. Gronovius (1690—1762), der sowohl in seiner „Flora virginica“ von 1743 (p. 103—104) als auch durch seine Briefe an Bruckmann sowie durch sein „Commercium litterarium Noricum 1741“ weniges, aber immerhin Interessantes mitteilte.

Ihm folgte Geoffroy, der ebenso in „Materia medica“ tom 2. sich mit unserer Wurzel abgab und Erwähnenswertes beifügte[2]).

Welch große Bedeutung das neue Mittel schon nach kaum zehn Jahren auch in Europa erlangt hatte, beweist der Umstand, daß auch Linné sich eingehend damit beschäftigte. Er nannte die Pflanze „Polygala marilandica“[3]) und stellte in seiner „Oratio de telluris habitabilis incremento“ 1743 die Droge den damals in den Apotheken hervorragendsten Mitteln wie Opium, Quecksilber und Chinarinde gleich[4]).

Wir finden die Wurzel sodann in zwei weiteren unter seiner Obhut entstandenen Arbeiten erwähnt, so 1745 in Samuel Nauclers „Hortus Upsalensis“[5]) und Friedr. Hasselquists „Vires plantarum“[6]).

Eine eingehendere Behandlung erfährt sie dann zum erstenmal in einer von Kiernander unter Linnés Anleitung verfaßten Schrift[7]).

[1]) Ebenso Friedr. Hasselquist, „Vires plantarum“ Ammoen. accad. tom. 1, 1747, p. 430.

[2]) Joh. Jak. Burckhard, Rad. Senega 1750, Argentorati.

[3]) Mat. med. Holmiae 1749, p. 122.

[4]) Ammoen. accad. tom. 2, p. 435.

[5]) Ammoen. accad. l. c.

[6]) l. c.

[7]) „Rad. Senegae“ Ammoen. accad. tom. 2, p. 126ff.

Als hervorragendes Beispiel führt Murray an, daß der große Linné selbst, als er 1753 an einer Erkältung erkrankt war, nachdem er dreimal täglich eine Drachme des Pulvers genommen schon nach zwei Tagen sich erholt hatte[1]).

Linné machte dann auch darauf aufmerksam, daß die Polygala vulgaris ähnliche Wirkung haben möchte und gab dadurch offenbar Veranlassung, daß diese, wie Polygala amara, später ebenfalls eingeführt wurde[2]).

Durch Philipp Miller wurde 1759 ein Versuch gemacht, Polygala Senega als Gartenpflanze nach England einzuführen. Sie geriet jedoch bald, da sie kein hübsches Aussehen besaß, in Ungunst und verschwand[3]).

Trotz Linnés Empfehlung und der erwiesenen Heilkraft scheint auch die Droge in den deutschen Apotheken anfänglich keinen besonders großen Anklang gefunden zu haben[4]).

Vergleichen wir die Angaben Murrays aus damaliger Zeit mit der heutigen Verwendung der Droge.

Wenn auch, allgemein genommen, weder die Annahme noch die Ausschließung eines Arzneimittels durch eine oder mehrere Pharmakopöen einen Schluß auf seinen Heilwert oder seine Wirkungslosigkeit gestatten, so bietet doch die Anführung der einzelnen Staaten, in denen eine Droge offizinell ist, somit also die Verbreitung einer Droge als offizinelles Arzneimittel in den verschiedenen Ländern, ein gewisses Interesse und liefert eine Basis zu der Beurteilung.

An Hand der von mir selbst durchgesehenen Pharmakopöen und Apothekerbücher sowie nach den in der Literatur vorhandenen Angaben läßt sich über die Verbreitung der Droge in ihrer medizinischen Verwendung folgendes ungefähres Bild entwerfen.

Die erste auf Polygala Senega bezugnehmende Angabe fand ich in der Pharmakopoea Wirtembergica von 1750, p. 58. In dem Kapitel „de Herbis et Foliis" findet sich ein Artikel über Herba Polygalae; unter anderem steht dort geschrieben:

[1]) Murray, App. med. 1779, p. 563ff.
[2]) Geiger, Pharm. Bot. 2, 1840, p. 1552ff.
[3]) Bot. mag. Lond. 1807, p. 1051.
[4]) Murray l. c.

„Plantae huius, qua huc usque in officinis nostris nondum usi sumus, hic mentionem facimus propter characterem et eximias virtutes resolventes, quas cum Polygala Virginiana communes habet.“

Als „Senega Rad.“ steht sie bereits im Verzeichnis der „medicamenta simplicia vegetabilia“ der Pharmakopoea collegii Regii Medicorum Edinburgensis aus dem Jahre 1758 (p. 15).

1760 findet sich Radix Senegae mehrmals erwähnt in der Pharmakopoea pauperum in usum noscomii regii Edinburgensis. So pag. 2 unter „medicamenta simplicia“, pag. 72 in der „Tabula posologica“ als Decoct. Senekae. pag. 53 im „index morborum et medicamentorum“, pag. 55 unter den „diaphoreticis, sudorificis, alexipharmacis“ als Rad. Senekae und Decoct. Senekae, pag. 57 unter den „Diaphoreticis“, pag. 57 unter „Febris intermittens“, pag. 59 unter „Hydrops“, pag. 67 unter „Artritis“. Ebenfalls aus dem Jahre 1760 datiert eine eingehendere Beschreibung der Wurzel in der Pharmakopoea Wirtembergica. Zu den ersten Arzneibüchern, in denen Radix Senegae in größeren Artikeln behandelt wird, gehört auch die Pharmakopoea Helvetica aus Basel 1771. Die hier angegebenen synonymen Bezeichnungen sind Seneka, Senega radix, Senagar offic.

1772 steht Radix Senegae in der Pharmakopoea Danica sowie in der dazu gehörigen Medizinaltaxe (pag. 25). 1775 findet sie sich in der Pharmakopoea Suecia pag. 45. Weitere Belegstellen fand ich in der Pharmakopoea Rossica von 1779 (pag. 49), in der Pharmakopoea Genevensis von 1780 (p. 179), in der Pharmakopoea herbipolitana von 1782 (p. 17 und 94). Sie erscheint dann 1784 in der Taxe von Lübeck und 1799 in der von Hannover als Rad. Senekae (nach Tunmann). Von den verschiedenen Pharmakopoeen Londinenses erscheint sie zum erstenmal in der Ausgabe von 1788 (p. 15).

Da ich das Glück hatte, an der hiesigen Universität die vom „Bulletin of the Lloyd Library of Botany, Pharmacy, materia medica“ in Reproduktion herausgegebenen alten amerikanischen Arzneimittellehren vorzufinden, erfuhr meine Zusammenstellung

eine wertvolle Bereicherung. So findet sie sich von den nordamerikanischen Arzneimittellehren zuerst in Wilhelm Cullens „Materia medica" von 1781, fehlt dann aber in Cutlers „Vegetable Productions" von 1784, der nur eine andere Polygala anführt; sie tritt dann wieder auf in Schoepfs „Materia medica americana"[1]).

In Benjamin Smith Bartons „Collections for an Essays towards a materia medica of the United States", Philadelphia 1798, steht Seneka-Snake-root unter den Sialagoga (p. 37), Cathartica (p. 33), Diuretica (p. 35), den Croupmitteln, den Expektorantien, Emeticis und Diaphoreticis[2]).

Verfolgt man nun die Verbreitung der Droge weiter im 19. Jahrhundert, so sieht man, daß sie eine bedeutende Steigerung erfahren hat. Nach den Angaben der Pharmakopoea Universalis aus dem Jahre 1832 war Radix Senegae damals in 41 Pharmakopöen offizinell. Aber auch heutzutage noch erfreut sie sich einer großen Beliebtheit. Wie Mittlacher[3]) zusammengestellt hat, wird sie in den Pharmakopöen der folgenden Staaten als offizinell aufgeführt:

Dänemark, Deutschland, England, Finnland, Griechenland, Japan, Kroatien, Niederlande, Norwegen, Österreich, Rußland, Schweden, Schweiz, Ungarn, Amerika, Serbien, Portugal, Belgien, Italien, Spanien, Frankreich, Rumänien.

Diese Angaben geben uns einen Begriff von der heutigen Verbreitung der Droge als Heilmittel.

Systematik.

Polygala Senega L.[4]), Polygalaceae-Polygaleae, die Stammpflanze unserer Droge, ist ein perennierendes Gewächs. Die im Mai blühende Staude findet sich an trockenen, lichten Stellen der Wälder von Nordamerika von 34° – 52° nördl. Breite von der Provinz Manitoba, im Dominion Canada über Minnesota, Wisconsin im Norden, Illinois, Indiana, Missouri, Arkansas,

[1]) Reprod. v. Bullet. of the Lloyd Libr. Nr. 6, 1903, p. 110.
[2]) Reprod. v. Bullet. of the Lloyd Libr. Nr. 1, 1900.
[3]) Die offizinellen Pflanzen und Drogen p. 43.
[4]) Spec. Plant. ed. 1, p. 704, 1753.

Tennessee, Kentucky, Mississippi im Westen, Nordkarolina bis Ohio und New-York im Osten. Sie fehlt in den Rocky mountains.

Da die Pflanze in einigen Gegenden schon ausgerottet ist, hatte man 1904 in Washington mit der Kultur begonnen; es scheint aber schwer zu sein, sie zu kultivieren. In der Schweiz ist es in Zofingen 1914 gelungen.

Diese Pflanze liefert sowohl die südliche und westliche wie die nördliche Senega[1]).

Die Stammpflanzen der 3 Sorten sind nur durch die Blattform verschiedene Standortsformen: die Pflanze der südlichen hat erheblich breitere Blätter. Aus der breitblättrigen Form hat Asa Gray eine besondere Varietät „latifolia" gemacht. Chodat eine andere aus den Abänderungen mit gefransten oder gezähnelten Blättern: var. „dentata". Auch die Wurzeln variieren nach Klima und Boden. Polygala Boykinii Nuttall, die früher als Stammpflanze der nördlichen oder südlichen Senega angegeben wurde, ist auf Georgia und Süd-Tennessee beschränkt und bildet nur ganz schmächtige Wurzeln[2]). Polygala alba Nuttall, die als Stammpflanze der blassen oder falschen weißen Senega von Kansas angegeben wurde, ist nahe verwandt mit Polygala Senega und mit ihr und Polygala Beyrichii Torrey et Gray durch Übergänge verbunden[3]).

[1]) J. U. und C. G. Lloyd, Pharm. Rundsch. 1889, p. 86 und 1892, p. 51.

Proc. americ. pharm. assoc. 1881, p. 453.

Americ. journ. pharm. 1881, p. 481 und 1889.

[2]) Mohr, Pharm. Rundsch. 1889, p. 191.

[3]) Maisch, Americ. Journ. of Pharm. 1881, p. 387 und 1889, p. 449; Pharm. Rundsch. 1889, p. 236.

Weitere Literatur: Gronovius, Flore de Virginie. — Nuttal, Gen. of North Amer. plants 1818. — Chodat, Monogr. Polyg. Genf 1891. — Torrey and Gray, Flor. North. Amer. — A. Gray, Gen. 2, 223, t. 183 und Man. Bot. U. S. 122. — Hooker, Flor. Boreal. Amer. 1 (1833). — Chapmann, Fl. South. Unit. States. — Proc. americ. pharm. assoc. 1876, p. 516 und 661. — Abbildungen bei: Berg-Schmidt, Atlas t. 93. — Pabst-Köhler, Mediz. Pfl. p. 98. — Bentley-Trimen p. 29. — Bot. Mag. t. 1051. — Nees v. Esenbeck t. 412. — Hayne, Arzneipflanzen 13, t. 21.

Handel.

Ursprünglich kam die Wurzel aus den nördlichen Staaten der Union und Kanada von Polygala Senega typica (alte nördl. Senega). Mit der zunehmenden Entwaldung und Urbarmachung des Landes rückten die Bezugsquellen nach Westen und Südwesten, zunächst nach Ohio, Virginien, Indiana, Kentucky, Tennessee und Nordkarolina, dann nach Illinois, Missouri, Arkansas. Diese Droge (südl. Senega) bestand aus relativ kleinen Wurzeln der Polygala Senega var. latifolia Torr. et Gray.

Größere Wurzeln kamen dann seit den siebziger Jahren des 19. Jahrhunderts aus den nordwestlichen Staaten Minnesota und Wisconsin (neue nördl. Senega). Sie stammten von einer zwischen typica und latifolia liegenden Varietät.

Die gewöhnliche Handelsware wird jetzt meist als westliche oder gelbe Senega bezeichnet. Sie wird in den Staaten südlich von Ohio, nämlich in Indiana, in Illinois, Missouri, Arkansas, Tennessee, Nordkarolina, Virginia und Kentucky gesammelt.

Die Händler unterscheiden davon die hellere, schwächer riechende und weniger kratzend schmeckende, seit 1876 im Handel auftretende südliche oder blasse bzw. graue Senega und eine stärkere, in Wisconsin und Minnesota gesammelte nördliche oder weiße Senega, sowie bisweilen noch eine südwestliche und eine dickere dunkle nordwestliche von Manitoba in Kanada [1]).

Die südliche stammt nicht von Polygala Boykinii und die nördliche nicht von Polygala alba. Es sind vielmehr alles nur Standortsvarietäten. Da die Fundorte der südlichen Sorte gegenwärtig fast erschöpft sind, so stammt die Hauptmasse auch dieser aus nördlicher gelegenen Gegenden, nämlich von den Staaten Jowa, Nebraska, Wisconsin, Minnesota, Dakota und den nordwestlichen Provinzen von Nordkanada (Hartwich). Aus dem Mitgeteilten sowie aus der ganzen Senegaliteratur geht hervor, daß bezüglich der Handelsbezeichnungen „südlich, nördlich" usw. ein nicht geringer Wirrwarr besteht. Wir können daher nicht umhin, Flückiger vollkommen beizupflichten, wenn derselbe

[1]) Gehe 1887, Sept., p. 25.

auf die geographischen Bezeichnungen nur wenig Wert legt. Je nach dem Wohnort des Drogisten oder dem Wohnort des Sammlers kann ein und dieselbe Senegasorte mit verschiedenen Bezeichnungen belegt werden.

Im Anschluß an dieses Kapitel dürfte es nicht unangebracht sein, noch einige Bemerkungen über den Handel und den Verbrauch von Rad. Senegae anzuführen.

Die nun folgenden Daten entnehme ich dem Referat O. Tunmanns[1]). Der Verbrauch von Radix Senegae ist ein ganz beträchtlicher. 1900 wurde in einem reichen Erntejahr der Gesamtertrag auf 300000 Pfund (engl.) angegeben, 1903 (Mittelernte) auf 200000 Pfund. Die Senegaernte ist nicht ausschließlich von dem Gedeihen der Pflanzen abhängig. Beim Freiwerden von Arbeitskräften durch geringe Getreide- oder Baumwollernten steigt der Ernteertrag, ebenso bei frühzeitigem Schluß der Getreideernte; starke Fröste im Spätherbst hemmen die Ernte. Diese Verhältnisse bedingen große Preisdifferenzen, zumal die Droge ein Spekulationsobjekt ist. Ein New-Yorker Maximalpreis war 1903 mit 1 $. 15 c. per 1 Pfund (engl.), ein niedriger Preis 1901 mit 30 c. für das gleiche Quantum. In Hamburg waren niedrige Preise 1898—1899 mit 291 M. pro 100 *kg*, hohe Preise 1904 und 1905 mit 489 M.

Die Einfuhr in Hamburg wird durch folgende Zahlen belegt:

1898	24100 *kg*
1899	31200 „
1900	60000 „
1901	42000 „
1902	41100 „
1903	62400 „
1904	38800 „
1905	47800 „
1906	48800 „
1907	45400 „
1908	52200 „

[1]) Beitrag zur Handelsgeographie der Drogen. Apoth.-Ztg. 1910, p. 476.

$^2/_3$—$^3/_4$ der Zufuhren kommen aus den Vereinigten Staaten (New-York), der Rest direkt aus Kanada oder über England. Hamburg führt auch Senega wieder aus. Die russischen Ostseehäfen erhalten jährlich im Mittel 3000—4000 *kg*, die russischen Häfen am Schwarzen Meer bis 1000 *kg*, Belgien bis 1500 *kg*. Italien ist ebenfalls ständiger Abnehmer von Hamburg geworden (1000—4000 *kg*). Gelegenheitskäufer sind Holland, Spanien, Triest, Japan, Argentinien, Chile. Als Rückkäufer treten die Vereinigten Staaten auf.

Im allgemeinen ist aber der Reexport nicht bedeutend, er betrug:

1899	5160 *kg*
1902	15310 „
1905	10990 „
1908	7470 „

Bringt man von der jährlichen Durchschnittseinfuhr von 45000 *kg* einen Reexport von ca. 20000 *kg* in Abzug, so dürfte der Bedarf für Deutschland und seine direkten Nachbarländer auf ungefähr 25000 *kg* im Jahr bewertet werden.

Jedenfalls ist die Senegawurzel eine Droge, die trotz der vielen sie eventuell ersetzenden chemischen Erzeugnisse im Gebrauch nicht gerade stark zurückgegangen ist, abgesehen von den anormalen Verhältnissen der Kriegsjahre.

Morphologie.

Droge.

Die Senegawurzel stellt fingerlange, höchstens 1,5 *cm* dicke, selten gerade, meist verschiedenartig gewundene Wurzeln dar, die, nach unten allmählich dünner werdend, einfach sind oder sich in mehrere spreizende Äste teilen. Am oberen Ende sind sie von einem höckerigen Wurzelkopfe gekrönt, der einen Durchmesser von 4 *cm* erreichen kann und von etwa 1 *mm* dicken Stengelresten gebildet wird, an denen sich rötliche Schuppenblätter befinden. Die hellgelblichgraue bis braungraue Oberfläche der Wurzel ist mit tiefen Längsrunzeln, Schwielen und Höckern besetzt und besonders im oberen Teil mit dicken, halbringförmigen Wülsten und tiefen Einschnürungen versehen.

Letztere befinden sich aber nur immer auf der einen Seite der Wurzel; ihnen gegenüber auf der anderen Seite tritt häufig eine Schwiele scharf hervor und läßt sich, wenn auch mit stellenweiser Unterbrechung, längs der Wurzel abwärts verfolgen, der sogenannte Kiel.

Die eigentümlichen Krümmungen oder Windungen der Wurzel sind schon von jeher als ein charakteristisches Kennzeichen derselben angesehen worden. Eine reguläre „steile Spirale", wie Berg sich ausdrückt, habe ich an keinem Exemplare gefunden. In manchen Fällen kann man allerdings mit Hilfe der Phantasie eine Schraubenlinie erblicken; bei genauerer Betrachtung aber zeigt es sich, daß die Windungen der Senegawurzel nur aus Krümmungen zusammengesetzt sind. Diese Krümmungen bemerkt man regelmäßig da, wo sich an der Wurzel Wulste bemerkbar machen; auf der äußeren, konvexen Seite der Wurzel befindet sich alsdann der Wulst, auf der inneren, konkaven, der Kiel. Zuweilen schließt sich an eine solche Krümmung eine andere an, oft geradezu in entgegengesetztem Sinne, so daß die Form eines S entsteht: diese beiden Krümmungen liegen dann etwa in derselben Ebene. Auch eine Drehung der Wurzel um ihre eigene Achse läßt sich nicht leugnen. Beim Durchmustern der Droge findet man reichlich Stücke, die nicht gebogen sind und weder Auftreibungen noch den Kiel zeigen.

Auf dem Bruch ist die Senegawurzel glatt, nicht faserig. Beim Aufweichen in Wasser verlieren sich die Längsrunzeln, der scharfe Kiel rundet sich ab und wird weniger auffallend. Von einem Kiel kann deshalb eigentlich nur an der trockenen Wurzel die Rede sein, nicht aber an der frischen oder im Wasser aufgeweichten; jedoch soll später, wenn von dem Kiel die Rede ist, immer diejenige Seite der Wurzel gemeint sein, auf welcher er sich an der getrockneten Wurzel befindet.

Anatomie.

Seit der Mitte des 18. Jahrhunderts besitzen wir eine ganze Reihe von chemischen Analysen der Senegawurzel; aber eine eigentliche botanisch-anatomische Untersuchung gab erst im

Jahre 1851 O. Berg bekannt[1]). Diese war jedoch so ungenau daß gleich nach ihrem Bekanntwerden G. Walpers sich veranlaßt sah, sie zu berichtigen und zu vervollständigen[2]).

Bald aber zog der eigentümliche Bau der Senegawurzel auch die Aufmerksamkeit anderer Forscher auf sich. So veröffentlichte Wigand im Jahre 1856 eine sowohl von der Bergschen wie der Walperschen abweichende anatomische Beschreibung derselben[3]).

Die eingehendste anatomische Untersuchung unserer Droge, welche mit Abbildungen versehen in der Botanischen Zeitung 1857 (p. 49) veröffentlicht wurde, verdanken wir wiederum O. Berg. Es ist dieselbe, welche sich mit geringen Abänderungen in allen Auflagen von Bergs Anatomischem Atlas sowie den nach 1857 erschienenen Auflagen seiner Pharmakognosie wiederfindet. In betreff einiger Punkte wurde die Bergsche Untersuchung einige Jahre später, 1862, von Wigand berichtigt[4]). Auch von Flückiger wurde sie[5]) noch in mancher Beziehung vervollständigt. Speziell die anatomische Seite der Senegawurzel wurde einer eingehenden Untersuchung unterzogen durch O. Linde[6]). Von weiteren Arbeiten, durch die die Kenntnis unserer Droge bedeutend erweitert wurde, seien erwähnt: A. Meyer[7]), De Bary[8]), Göbel[9]), Holfert[10]), Tschirch[11]), Tunmann[12]).

[1]) O. Berg, Handbuch der pharm. Botanik 2. Teil, Pharmakognosie 1850—1852, p. 75.

[2]) Bot. Ztg. 1851, p. 297.

[3]) Flora 1856, p. 675.

[4]) Archiv der Pharmazie 1862, Bd. 111, p. 238.

[5]) Pharmakognosie des Pflanzenreiches 1. Aufl., 1867; 2. Aufl., 1883.

[6]) Beiträge zur Anatomie der Senegawurzel. Flora 1886.

[7]) Archiv der Pharmazie 1887, p. 557 und Drogenkunde 1891, 1. Teil, p. 283.

[8]) Vergleichende Anatomie p. 585.

[9]) Americ. Journ. of Pharm. 1881, p. 321.

[10]) Archiv der Pharmazie 1889, p. 499.

[11]) 62. Versamml. deutsch. Naturforsch. u. Ärzte, Heidelberg, Abt. Pharm.

[12]) Pharm. Zentralhalle 1908, p. 63.

Schält man von den gebogenen Wurzelstücken die Rinde ab, so findet man, daß nicht etwa wie bei einer normal gebauten Wurzel ein zylindrischer, im Querschnitt kreisförmiger Holzkörper zum Vorschein kommt, sondern daß vielmehr an der konvexen Seite des gekrümmten Stückes eine oder auch mehrere Spalten sich im Holzkörper zeigen. Diese Spalten sind fast so lang wie der gekrümmte Teil der Wurzel, können schmäler oder breiter sein, gehen aber meist fast bis zum Zentrum des Holzkörpers und erscheinen so teils als scharfe Längsspalten, teils als breite Ausschnitte in dem Holzkörper der Wurzel.

Die Querschnitte durch die Wurzel gewähren ein verschiedenartiges Bild je nach der Stelle, der sie entnommen werden. So ist die dicht unter dem Wurzelkopf gelegene Partie meist normal gebaut, und man erkennt hier auch schon mit der Lupe deutliche Jahresringe im Holze dieser obersten Region der Wurzel. In den anschließenden gewundenen Partien der Wurzel verläuft der Umriß des Holzkörpers nicht in genauer Kreislinie oder Ellipse, sondern er ist immer durch mehr oder weniger tief eingreifendes Gewebe unterbrochen. Bisweilen sind diese Rindenkeile sehr schwach, der Querschnitt des Holzes daher annähernd kreisrund, häufiger bilden die Keile auf der dem Kiel entgegengesetzten Seite tiefe, meist bis ins Zentrum gehende Ausschnitte. Diese Ausschnitte können so erheblich sein, daß nur die Hälfte oder sogar noch weniger als die Hälfte des Holzkörpers ausgebildet ist (vgl. Abb. in Tschirchs Handb. d. Pharmakogn. T. 66).

Unter dem Mikroskop erkennt man innerhalb einer schwachen Korkschicht die Rinde. Sie enthält nur in den dem ausgebildeten Holzkörper entsprechenden Partien Rindenstrahlen, die aus Phloëmparenchym und in dasselbe eingebetteten Siebbündeln bestehen. Der dem Ausschnitt des Holzkörpers entsprechende Teil der Rinde ist zusammengesetzt aus Parenchym mit weiter unten zu erwähnenden Ausnahmen. Das Kambium geht über die Ausschnitte des Holzkörpers hinweg. Wie oben gesagt wurde, zeigt der Holzkörper in den meisten Fällen einen oder mehrere Ausschnitte, die die Hälfte oder noch mehr als die Hälfte betragen können. Das ist der gewöhnlichste Fall. Häufig kommen kompliziertere Verhältnisse vor, bei denen der

Holzkörper von Spalten durchsetzt ist, oder in seinem Inneren inselartige Flecke freiläßt, die nicht von Holzgewebe, sondern von Parenchym erfüllt sind. Anderseits treten in dem Ausschnitt oft größere oder kleinere Gruppen von Holzgewebe auf. Dem Holzgewebe auf der inneren Seite des Kambiums entspricht überall Phloëmgewebe auf der äußeren. Das bezieht sich nicht nur auf den großen, geschlossenen Holzkörper, sondern auch auf kleine Holzteile im Ausschnitt und ebenso auf mit Parenchym erfüllte Lücken im Holzkörper, denen dann Parenchyminseln im Phloëm entsprechen.

Eine eingehendere anatomische Behandlung erfahren die normal gebauten Wurzeln im zweiten Teil dieser Arbeit, so daß ich hier nur noch einige spezielle Merkmale der anormalen Partien zu erwähnen habe. Hier sind es besonders die mittleren und inneren Lagen der Rinde und der Holzkörper, die sich wesentlich vom Bau einer normalen Wurzel unterscheiden.

Mittel- und Innenrinde. Auf der Kielseite sind diese durch Einschaltung eines differenzierten Füllgewebes verstärkt. Dieses Gewebe läßt schon bei schwacher Vergrößerung eine deutliche Schichtung erkennen. Die Schichten sind in den äußeren Lagen schmal und werden nach innen zu nach und nach breiter. Hier waltet wenigstens in unmittelbarer Nähe des Kambiums radiale, dort in dem größten Teil des Füllgewebes tangentiale Anordnung vor; beides hat allerdings Neigung zu Unregelmäßigkeiten in dem Bau der Schichten.

Stärkere Vergrößerung zeigt die Schichten als wechselnde Lagen derbwandiger, polygonaler Ersatzfasern und ebenfalls derber, abgerundeter Parenchymzellen; erstere sind vor allem durch Collenchymglanz ausgezeichnet. Beide Zellformen nehmen an Größe und Wanddicke ab, je mehr man sich den inneren Rindenteilen nähert. Dabei findet ein allmählicher Übergang der tangentialen Schichtung in die radiale statt unter Hervortreten der im übrigen Füllgewebe schwer sichtbaren Markstrahlen.

Endlich schließt ein mit der normalen Wurzel so ziemlich übereinstimmender ausgiebiger Bastteil die Rinde nach innen ab.

Daß es sich bei den Ersatzfasern um ausgesprochene Fasern von oft recht bedeutender Länge handelt, ergibt der

radiale Längsschnitt. Hier fallen auch die zahlreichen, schräggestellten Spaltenporen auf. Sie werden von ähnlichen Poren gekreuzt, wenn die zugehörige Faser eine gleichwertige zweite Zelle deckt oder von ihr gedeckt wird. Derartige Poren sind häufig so zart, daß man eine Schichtung der Wand durch zwei sich schneidende Streifensysteme vor sich zu haben glaubt.

Die mit den Ersatzfasern in Schichten abwechselnden Parenchymzellen zeigen vielfach ähnliche, jedoch schon größere, deutlich als solche erkennbare Poren. Anderseits fehlt es auch nicht an mehr dem Parenchym entsprechenden größeren oder kleineren, kreisförmigen bis elliptischen Tüpfeln. Die zugehörigen Zellen selbst sind gestreckt-elliptisch bis gestreckt-polygonal, bei sehr verschiedener Höhe. Besonders lange und dann schmale Formen können als Übergänge zu den Ersatzfasern betrachtet werden, denen sie sich auch in bezug auf die poröse Struktur nähern.

Die dem Kiel entgegengesetzte Rindenseite besteht mit Ausnahme derjenigen Stellen, an denen Holzergänzungsstücke eingeschoben werden, aus dünnwandigen, rundlichen Parenchymzellen, die von dem Kambium in bemerkenswerter Menge angelegt werden. Sie werden nach außen zu derbwandiger. Mark- wie Baststrahlen fehlen dieser Rindenpartie, die beim Austrocknen der Wurzel gleichmäßig zusammenfällt, sehr im Gegensatz zu der entgegengesetzten Wurzelhälfte, wo sich, bedingt durch die ausstreifenden Ersatzfaserschichten, der Kiel bildet.

Holzkörper.

Auf der Kielseite ist der Holzkörper im allgemeinen normal ausgebildet. Breitere Markstrahlen und in der Entwicklung zurückgebliebene dünnwandige, unverholzte Markstrahlteile sind allerdings häufiger als in dem normal gebauten Teil der Wurzel.

Die dem Kiel entgegengesetzte Seite ist durch das mehr oder weniger beträchtliche Zurückbleiben des Holzkörpers in der normalen Entwicklung gekennzeichnet; es finden sich dementsprechend größere oder kleinere Lücken in dessen Konstruktionssystem.

Das Kambium bildet hier weder nach innen Holz noch nach außen Siebelemente, sondern nach innen ein sogenanntes anor-

males Parenchym, das heißt ein aus größeren, mit Interzellularen versehenen getüpfelten Zellen bestehendes Markstrahlgewebe, nach außen ein großzelliges Rindenparenchym.

Die in radialen Reihen angeordneten Zellen sind in der Nähe des Wurzelzentrums fast quadratisch und nur wenig größer als die benachbarten Holzelemente, nehmen nach der Peripherie hin an Größe zu und werden in tangentialer Richtung gestreckt. Am Kambium sind diese Markstrahlzellen oftmals so groß, wie die danebenliegenden Zellen des Holzes.

An diesen Partien ist das Kambium oft mehr oder weniger eingebuchtet, bisweilen auch bis zum Holzkörper verschoben, so daß dann nur wenig Innenparenchym sichtbar wird. In extremen Fällen fehlt dann nicht nur der halbe Holzkörper, sondern es tritt an seine Stelle kein ergänzendes Gewebe. Nur die Rinde (s. o.) erfährt dann seitens des Kambiums eine Förderung durch Parenchym.

Gerade diese breiten, von Parenchym erfüllten Lücken im Holzkörper waren es, die all den Forschern, welche die Senegawurzel anatomisch untersuchten, rätselhaft erschienen; fast ein jeder von ihnen faßte sie anders auf.

Der erste, O. Berg, erwähnt sie 1850 noch gar nicht[1]); später[2]) erklärt er sie für Risse im Holzkörper, hervorgebracht dadurch, daß „bei den Windungen der Wurzel das Holz wegen seiner spröden Textur nicht folgen konnte"; deshalb sei es an seiner äußeren, dem Rindenkiel entgegengesetzten Seite, der Länge nach gespalten. Das Parenchym der Holzdefekte bezeichnet Berg als Rindengewebe, welches in die Spalten des Holzkörpers hineingewachsen sei, trotzdem er bemerkt hatte, daß es in regelmäßigen Radialreihen angeordnet ist. Wäre Bergs Annahme richtig, die sich durch die späteren Auflagen seiner Pharmakognosie und seines anatomischen Atlas hindurchzieht, so würden die Parenchymmassen unregelmäßig, sicherlich nicht in radialen, nach der Peripherie zu sich verbreiternden Reihen geordnet sein. An derselben Stelle aber gibt Berg ein sehr praktisches Mittel an, um einen Überblick über die Gestalt des Holzkörpers zu

[1]) Pharm. Bot. 2. Teil, Pharmakognosie 1850—1852.
[2]) Bot. Ztg. 1857, p. 49.

gewinnen; er empfiehlt nämlich, die Wurzel nach dem Aufweichen in Wasser vorsichtig von der Rinde zu befreien. Hätte dies vorher Walpers[1]) getan, so wäre derselbe wohl nicht zu der Meinung gekommen, daß manche Wurzeln einen stielrunden, andere dagegen einen nur zur Hälfte ausgebildeten Holzkörper besäßen. Walpers hat die strahlenförmige Anordnung der Parenchymzellen ebenfalls bemerkt; er nennt letztere „Rindenparenchym" und „möchte sich versucht fühlen, hier an übermäßig entwickelte Markstrahlen zu denken". A. Wigand spricht[2]) die Ansicht aus, daß der gesamte Holzkörper seiner ganzen Länge nach nur einseitig ausgebildet sei. Die Parenchympartien sieht er als das Mark an, das hier nicht im Holzkörper eingeschlossen sei, sondern daneben liege, denselben zu einem Zylinder ergänzend. Einige Jahre später[3]) präzisiert Wigand seine Aussagen über das „Mark", indem er sagt, die Prosenchymgewebe, Bast und Holz, lägen auf einer Seite, die Parenchymgewebe, Mark und primäre Rinde auf der anderen, anstatt sich konzentrisch einzuschließen. Gleichzeitig an demselben Ort erkennt Wigand aber auch an, daß nach dem Abschälen der Rinde der Holzkörper nicht der ganzen Länge nach offen sei, sondern daß nur kürzere oder längere Spalten an denselben vorhanden seien. Von der Meinung aber, daß die breiten Parenchymstrahlen ein markartiges, d. h. ein dem Mark entsprechendes, dasselbe vertretendes Gewebe seien, geht Wigand auch in seinem Lehrbuch der Pharmakognosie[4]) nicht ab. F. A. Flückiger bezeichnet in seiner Pharmakognosie des Pflanzenreichs die breiten Markstrahlen als „in das Holz eingedrungene Rindenkeile, durch das Auswachsen der Markstrahlen entstanden"[5]).

Daß die anatomischen Eigenarten im Bau der Senegawurzel zu mancherlei Deutungsversuchen Anlaß gegeben haben, ist leicht begreiflich. So äußert sich Linde am Schluß seiner Arbeit folgendermaßen[6]):

[1]) Bot. Ztg. 1851, p. 299.
[2]) Flora 1856, p. 676.
[3]) Arch. d. Pharm. 1862, Bd. 111, p. 238.
[4]) Wigand, Lehrbuch der Pharmakognosie 3. Aufl., p. 43.
[5]) Flückiger, Lehrbuch der Pharmakognosie des Pflanzenreiches 1. Aufl. 1867, p. 264; 2. Aufl. 1883, p. 410.
[6]) l. c.

„Werfen wir nun einen Blick auf die abnormen Wachstumserscheinungen, wie wir sie bei der Senegawurzel fanden, zurück so fällt uns ins Auge, daß ein Teil der Abnormitäten, wie z. B. das Absterben des Kambiums, durch äußere Einflüsse veranlaßt ist. Ein anderer Teil ist konstant und erblich; hierher gehört unter anderem die Bildung des Rindenkiels und der breiten Markstrahlen. Den abnormen Bau der Senegawurzel mit besonderen Lebensbedingungen der Pflanze in Verbindung zu bringen ist bis jetzt nicht möglich; man wird zunächst nur sagen können, daß durch die Bildung der breiten Markstrahlen und des Kiels das Reservestoffe speichernde Wurzelparenchym verstärkt wird."

A. Meyer führt den abnormen Bau der Wurzel auf die starke Kontraktion des Rindenparenchyms bei besonderer Festigkeit des Holzkörpers, auf die leichte Verletzbarkeit des Kambiums und der die Nährstoffe leitenden Siebröhrenstränge, sowie die Tendenz, die primären Markstrahlen besonders breit, großzellig und unverholzt auszubilden, zurück und bringt ihn auch zu der zweizeiligen Stellung der primären Nebenwurzeln in Beziehung. Daß starke Spannungen in der unter dem Wurzelkopf liegenden Partie vorhanden sind, konnten wir aus der Tatsache schließen, daß an dieser Stelle oft äußerlich sichtbare Zerreißungen zu beobachten sind, und die Wurzel oben vielfach gewunden oder hin- und hergebogen erscheint. Die spiralig einsetzenden Spannungen führen zunächst zu einer einseitigen Förderung des Holzkörpers und dann zu einer Zerklüftung desselben an der der geförderten gegenüberliegenden Seite. Sitz der kontrahierenden Kräfte ist wohl vornehmlich der Siebteil (Tschirch, Handbuch p. 1531).

Auch der an der konkaven Seite der Wurzelkrümmungen abwärtsstreichende Kiel, der sich, eine Folge des anormalen Baues und einseitiger Förderung des Holzkörpers, an dickeren Wurzeln ziemlich regelmäßig findet, deutet (A. Meyer) darauf, daß die Pflanze im Verlauf ihrer Entwicklung in den Boden hineingezogen wird und wäre geradezu als eine Einrichtung zu betrachten, die der Pflanze diese Tätigkeit erleichtert.

Ob diese Hypothese, die auf die Eigentümlichkeiten des anatomischen Aufbaues ja vollkommen passen würde, das richtige

trifft, und warum Polygala Senega diese sonst nicht bekannte Komplikation nötig hat, suchte ich an Hand meiner Untersuchungen an lebendem Material festzustellen.

Lebende Pflanze.

Das Material zu diesen Untersuchungen entstammt einesteils den Kulturen der Firma Siegfried in Zofingen, anderenteils wurden die Pflanzen im hiesigen Institut und im Botanischen Garten Basel aus Samen gezogen, welche ich der Liebenswürdigkeit des Herrn Dr. Kurt Siegfried aus Zofingen und des Herrn Greenmann aus St. Louis (Vereinigte Staaten) verdanke. Daneben erhielt ich als wertvolle Vergleichsstücke einige ausgewachsene Exemplare von Polygala Senega (jüngere und ältere getrocknete Pflanzen inklusive Wurzeln) durch Herrn Chas. C. Deam in Indianapolis. Fundorte dieser mir gesandten Pflanzen sind nach Angabe des Herrn Deam: Indiana, Fountain county, wo er sie am Rand eines Sumpfes in einem Gehölz von schwarzen und weißen Eichen dem Bear Creek Fluß entlang, südlich von Fountain gesammelt hat. Sie kommen vor zusammen mit Populus grandidentata Mx., Quercus imbricaria, Corylus americana usw.

Leider war es infolge des Weltkrieges unmöglich, von all den vielen Adressen in Amerika, an die ich mich um Material wandte, solches zu erhalten.

Es sei an dieser Stelle schon vorweggenommen, daß die aus Zofingen erhaltenen und von mir gezogenen Pflanzen völlig dem Herbarmaterial des Herrn Deam entsprechen. Es handelt sich um Polygala Senega L. var. latifolia subsp. dentata (Chodat).

Da es sich darum handelt, die Pflanzen von ihrer Keimung ab zu studieren, betrachten wir zunächst den Samen.

Samen.

Der in jedem Fruchtfach einzeln vorkommende Same entwickelt sich aus einer hängenden, anatropen Samenanlage. Seiner äußeren Gestalt nach ist er länglich, 2,5—3,5 mm lang, schwarz, sehr fein grubig vertieft, mit weißen Haaren besetzt, an einem Ende (dem oberen oder Nabelende) schmaler, am anderen breiter und dicker, an der inneren Seite leicht zusammengedrückt.

An dieser der Plazenta anliegenden Seite zieht sich vom Funikulus her eine nur schwach hervortretende Raphe entlang. Ein weißer, häutiger, zweischenkliger, das obere Ende überragender Samenmantel umhüllt den Samen einseitig. Die Verbindung mit der Plazenta vermittelt ein nur sehr kurzer, kegelförmig hervorragender Funikulus (Abb. 1).

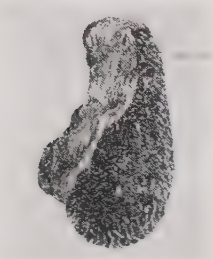

Abb. 1. Vergrößerung ca. 10/1. Same von Polygala Senega von der Seite gesehen. Links der zweischenklige Samenmantel.

Halbiert man den reifen Samen der Länge nach, so ergibt sich folgendes Bild:

Das weiße, ziemlich weiche, nur eine dünne plattenförmige Lage darstellende Endosperm umgibt ringsum den Embryo. Dieser ist stark entwickelt, fast spatelförmig, zweilappig, mit dem stumpf konischen Würzelchen nach oben gerichtet. Die Kotyledonen haben eirund-spatelförmige Gestalt, sind gerade, dicht aufeinanderliegend, mäßig dick und ziemlich platt.

Keimung und Wachstum.

Das Alter der aus Zofingen bezogenen Samen betrug ein Jahr. Bevor ich mich mit dieser Arbeit befaßte, waren im Jahre vorher im pharmazeutischen Institut Basel mit einigen wenigen Samen Keimversuche gemacht worden. Die Samen waren in verschiedene Töpfe gesät und während mehrerer Monate begossen worden; jedoch war kein einziger zum Keimen gelangt. Auf Schnitten zeigte es sich, daß von diesen Samen noch sehr viele unversehrt geblieben waren, so daß man keinen Grund hatte, an ihrer Keimkraft zu zweifeln. Offensichtlich trug die äußerst stark ausgebildete Samenschale die Schuld an der erschwerten Keimung. Von dieser Voraussetzung ausgehend, stellten wir die gebräuchlichen Versuche mit Schwefelsäure, mit Anritzen usw. an, jedoch ohne Erfolg. Ein Resultat erzielte ich bei Samen, an denen ich mit Hilfe einer Lanzette die Samenschale dort, wo das Würzelchen heraustritt, sprengte oder ganz entfernte. Nach der Vorbehandlung brachte ich die Samen in Petrischalen auf mit Sachsscher Nährlösung befeuchtete Watte.

Da mir kein so großes Material zur Verfügung stand, daß systematische Keimversuche ausgeführt werden konnten, und diese Experimente überhaupt außerhalb des Rahmens meiner Arbeit lagen, ging ich nicht näher auf das Studium dieser Verhältnisse ein. Es war mir in der Hauptsache darum zu tun, Keimlinge zu bekommen, und das war durch die oben geschilderte Behandlung erreicht. Dementsprechend ließen wir im Laufe der Zeit die Pflanzen immer unter den ihnen augenscheinlich am meisten zusagenden Bedingungen weiter wachsen. Sie wurden bei Beginn der wärmeren Jahreszeit ins Freie verpflanzt, wo sie auch den Winter über verblieben, ohne Schaden zu nehmen. Aus einer amerikanischen Notiz erfuhren wir, daß die Pflanze besonders gut in Lehmboden gedeiht, was bei unserer Kultur berücksichtigt wurde.

Zunächst quillt der Same etwas auf, das Mikropylarende verlängert sich zapfenförmig. Die Testa vermag dem Druck, der auf sie ausgeübt wird, nicht mehr standzuhalten, sie zerreißt der Länge nach; das Würzelchen tritt ans Licht, was bei den in obiger Weise präparierten Samen in 5—6 Tagen der Fall ist. Das Würzelchen wächst rasch in die Länge, ohne dabei seinen Durchmesser merklich zu vergrößern. Dann wird auch das hypokotyle Glied nachgezogen. Während dieser Vorgänge bleiben die Kotyledonen noch vollständig von der durch das Endosperm gebildeten Hülle umschlossen. Wir sehen, daß die anfänglich weißglänzende Endospermhülle zusehends ihren Glanz verliert und allmählich vertrocknet.

Um Fäulnis zu verhüten, brachten wir die Samen schon nach kurzer Zeit in Töpfe mit feuchtem Sand oder lockerer mit Sand vermischter Erde. Bei einzelnen Exemplaren kam es vor, daß die Samen zu wenig mit Erde bedeckt waren, wodurch kein rechter Halt gegeben war, so daß dann beim Keimen die Samenschale von den nur zur Hälfte herausgezogenen, an der Spitze gefesselten Keimblättern emporgehoben wurde. Die Loslösung der Keimblätter durch den vom wachsenden Keimblattstamme ausgehenden Zug war dann unmöglich gemacht. Manchmal gelang es zwar den sich vergrößernden und streckenden Keimblättern, ohne künstliche Mithilfe die Samenschale abzuwerfen, aber nicht immer; dann blieben die Spitzen in der Höhlung

der Schale eingeklemmt, verkrüppelten und vergilbten, was auf den Keimling die nachteiligsten Folgen hatte.

Bei normal verlaufender Keimung entfalten sich die beiden Kotyledonen, sobald die der Reservestoffe beraubte Endospermhülle abgestoßen ist. Das Grünwerden der Keimblätter tritt gewöhnlich erst beim Ausbreiten derselben ein.

Die Plumula geht bald zur Laubblattbildung über. Etwa dieselbe Größe wie die ovalen Keimblättchen erreichen die beiden

Abb. 2. Nat. Größe. 7 Wochen alte Keimpflänzchen von Polygala Senega.

Primordialblätter, welche opponiert und mit den Keimblättern gekreuzt stehen, erst nach etwa 4 Wochen.

Zugleich brechen nach dieser Zeit in der Medianebene der Kotyledonen aus der Keimwurzel die ersten Seitenwurzeln hervor.

Die Haupt- und Nebenwurzeln zeigen gegen ihre Spitze zu eine dunklergefärbte Anschwellung; im übrigen ist der Wurzelkörper weiß. Sämtliche Wurzelzweige sind bis ca. ½ *cm* oberhalb der Wurzelspitze dicht mit Haaren besetzt.

Mittlerweile hat sich das junge Pflänzchen gestreckt und nach etwa 2 Monaten eine Länge von ca. 5 *cm* erreicht. Der Übergang der Wurzel in das Hypokotyl macht sich äußerlich durch die rote Färbung dieser Stelle bemerklich; wie überhaupt die Sproßachse und die untersten Blätter der jungen Pflanze rot gefärbt sind (Abb. 2).

Abb. 3. Nat. Größe. Im Frühjahr austreibende Blütensprosse einer mehrjährigen Pflanze.

Während die beiden ersten Laubblattpaare gegenständig und gekreuzt stehen, zeigt sich bei den später entwickelten Blättern eine allmähliche Verschiebung zu wechselständiger Stellung.

Nach Abschluß der ersten Vegetationsperiode haben die aus den Samen gezogenen Pflänzchen, wie ich an den in Basel und Zofingen gewachsenen Exemplaren vergleichsweise feststellen konnte, eine Höhe von ca. 20 *cm* erreicht.

Zum Blühen kommt die Pflanze erst im zweiten Jahr. Die vegetativen Triebe des ersten Jahres sterben an ihrem Grunde ab und im nächsten Frühjahr beginnen die bereits früh angelegten Sproßknospen sich zu strecken, um später zu blütentragenden Sprossen auszuwachsen. Schon im Mai lassen sich in den Achseln der noch wohlerhaltenen Kotyledonen die ersten Anlagen der Sprosse fürs nächste Jahr erkennen. Dieselben drücken bei ihrer weiteren Entwicklung die Kotyledonen beiseite, so daß diese zuletzt abfallen. Im Herbst, wenn der vegetative Keimsproß abzusterben beginnt, haben die an seiner Basis gebildeten Tochtersprosse eine Höhe von ca. 3 *cm* erreicht. Die Knospen sind durch rötliche, schuppenförmige Blättchen gegen die Witterungseinflüsse gut geschützt.

Die aus Zofingen mitgenommenen älteren Exemplare hatte ich den Winter über im Kalthaus des Botanischen Gartens. Sie wurden nur selten ein wenig begossen, sonst aber ganz sich selbst überlassen. Auf Anraten des Gärtners hatte ich die vertrockneten Blütensprosse des letzten Jahres abgeschnitten. Der Einfluß des Aufenthaltes im Gewächshaus machte sich an einer frühzeitig erwachenden Wachstumstätigkeit der Wintersprosse bemerkbar. Ziemlich rasch wurden die in der Knospenlage dicht gedrängt stehenden Blätter durch Streckung der Internodien auseinandergerückt; die rote Färbung der Schuppenblätter verschwand und letztere bildeten sich zu Stengelblättern aus (Abb. 3).

Bereits im März waren die ersten Anlagen der Blütenstände zu erkennen.

Es sei hier noch ein Versuch erwähnt, der mit den noch nicht völlig ausgewachsenen Sprossen angestellt wurde. Indem diese als Stecklinge verwendet wurden, hofften wir so die Anzahl der Pflanzenstöcke rascher vermehren zu können, was für eine Kultur der Pflanze von großem Wert wäre. Dazu wurden die Sprosse am Grunde glatt abgeschnitten und während längerer Zeit in feuchten Sand gesteckt. Leider wurden die Erwartungen getäuscht, indem von den zehn zum Versuch genommenen Stecklingen nach und nach alle zugrunde gingen. Weiter ließen sich die Versuche in dieser Richtung nicht ausdehnen, da die wenigen

älteren Pflanzenstöcke nicht aller jungen Triebe beraubt werden konnten.

Nachdem wir nun gesehen haben, wie an der einjährigen Keimpflanze die Anlage zu neuen Trieben fürs nächste Jahr vor sich geht, indem die ersten solchen in der Achsel der Keimblätter gebildet werden und sich zu beiden Seiten derselben im späteren Wachstum bereits neue Knospen zweiter Ordnung zeigen, können wir uns einen Begriff machen, auf welche Weise das eigentümlich kopfförmige Gebilde, der „Wurzelkopf", der die Droge krönt, zustande kommt. Je nach der Zeit des Einsammelns und des Alters der Wurzel finden wir diese Partie der Droge verschieden entwickelt vor.

Es handelt sich um ein reichverzweigtes Dichasium, dessen Zweige sehr kurz bleiben. Dieses dichasiale Achsensystem entsteht folgendermaßen: Jeder oberirdische Stengel trägt in den Achseln der zwei untersten, ganz tief an der Basis sitzenden Schuppenblätter je ein von roten Niederblättchen umhülltes Knöspchen, welches nach dem Absterben des diesjährigen Blütentriebes zu einem oberirdischen Stengel auswächst. Die neuentstandenen Stengel erzeugen in gleicher Weise zwei neue basale Triebe, während sich die unterirdischen, kurzen Reste der alten etwas verdicken. Durch Wiederholung dieses Vorganges entsteht nach und nach das polsterförmige Sympodium, von welchem sich bei älteren lebenden Pflanzen 20—40 Stengel und mehr als doppelt so viele Knospen erheben (vgl. A. Meyer).

Es kann jedoch auch vorkommen, daß nach dem Verblühen die Stengel nicht vollständig bis zu ihrer Basis absterben, sondern noch ein bis mehrere Zentimeter langes Stück bestehen bleibt. In diesem Fall entstehen im nächsten Frühjahr an dieser im Lauf der Zeit stark verholzenden Stammbasis neue Knospen, die sich dann gleich wie diejenigen des Wurzelkopfes verhalten. Dadurch könnte der Eindruck erweckt werden, als ob man an ihrer Basis verzweigte Sprosse vor sich habe (Abb. 4).

An den oben besprochenen Wurzelkopf schließt nach unten eine kurze Hauptachse an. Diese geht allmählich über in die oft verzweigte Hauptwurzel. In mehreren Windungen (wie wir später sehen werden mit normalem Holzkörper) dringt die Hauptwurzel ein Stück weit in die Erde hinein, bevor sie sich verzweigt,

und zeigt überhaupt eine mehr oder weniger ausgesprochene Tendenz, sich während der sonst reichlichen Zweigbildung als

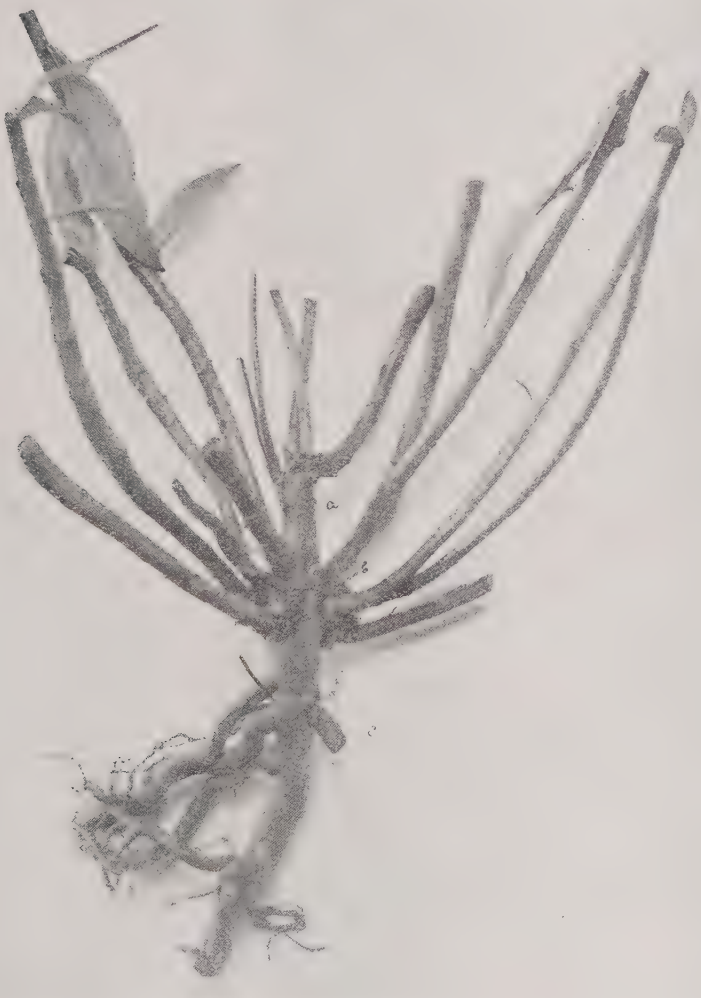

Abb. 4. Nat. Größe. Wurzelkopf einer mehrjährigen Pflanze. a = Überlebende Sproßbasis, b = In den Achseln der diesjährigen Blütensprosse Anlagen von Tochtersprossen, c = Nebenwurzeln.

Hauptwurzel zu erhalten; oder aber es treten gleich unterhalb des Wurzelkopfes mehrere ihr bisweilen an Mächtigkeit kaum

Abb. 5. Vergrößerung ca. 1/2 nat. Größe. Wurzelsystem einer zweijährigen Pflanze.

nachstehende Nebenwurzeln in deutlich zweizeiliger Anordnung aus (Abb. 4; vgl. auch das unter Morphologie der Droge Gesagte p. 13).

Die Nebenwurzeln verhalten sich ihrerseits in gleicher Weise. Das dadurch entstandene Wurzelsystem ist sehr dicht und reich an feinen, mit Wurzelhaaren dicht besetzten Zweigen (Abb. 5).

Von all den feinen Wurzelästen ist in der Droge nur zuweilen etwas erhalten.

Wurzel.

Entwicklungsgeschichte.

Die Anordnung der primären Elemente einer Wurzel bildet ein wichtiges Moment in der Entwicklungsgeschichte derselben, denn die vielen charakteristischen Merkmale im anatomischen Bau der älteren Wurzeln sind unmittelbare Folgeerscheinungen der primären Anordnung ihrer Elemente. So steht die Anzahl und Form der primären Markstrahlen in unmittelbarstem Zusammenhange mit den primären Gefäßstrahlen, wie auch die Art der Verzweigung bei allen Wurzeln von der Anzahl der Gefäßgruppen abhängt.

Ich hoffte nun, über den Beginn und die Art der anormalen Wachstumserscheinung im Dickenwachstum der Senegawurzel Aufschluß zu erhalten, indem ich sämtliche Stadien von der jüngsten Keimwurzel bis zu den ausgewachsenen Wurzeln älterer Pflanzen einer eingehenden Untersuchung unterwarf.

Es sei gleich an dieser Stelle bemerkt, daß es mir nicht möglich war, die Eigenart des anatomischen Aufbaues der von Amerika zu uns kommenden Senegawurzel an den von mir gezogenen Pflanzen zu ergründen, weil, wie wir später sehen werden, die bei uns kultivierten Wurzeln niemals einen anormalen Bau erkennen liessen.

I. Primäres Stadium.

Etwas oberhalb der Wurzelspitze zeigen Querschnitte folgendes Bild: Wir sehen eine aus radial etwas gestreckten Zellen bestehende Epidermis. Hier und da ist eine Zelle zu einem Wurzelhaare ausgewachsen. Ihr folgen 4—5 Zellagen eines mit Interzellularen versehenen Rindenparenchyms. Die äußeren Rindenzellen sind leicht tangential, die an die Endodermis stoßenden deutlich radial gestreckt. Die Mächtigkeit der primären Rinde entspricht etwa dem Durchmesser des Zentralzylinders. Die innerste Lage der Rinde, die Endodermis, hebt sich durch die

Kleinheit ihrer Zellen und die besondere Ausbildung ihrer Wandungen deutlich vom übrigen Gewebe ab. Die Membran der Endodermiszellen, welche bei Beginn der Gewebedifferenzierung eine zarte ist, erfährt sehr bald eine Verkorkung, welche in den Radialwänden beginnt (Casparysche Punkte).

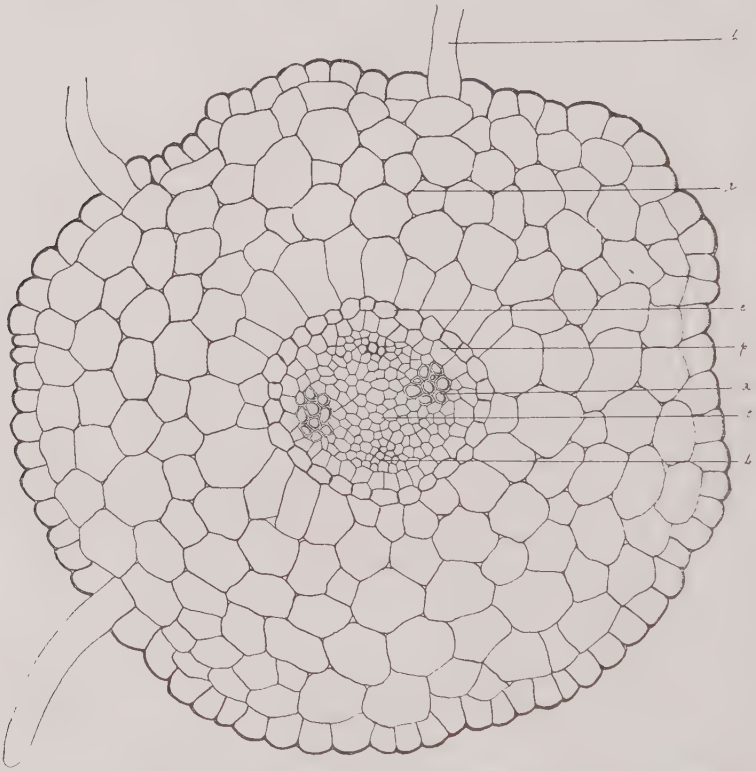

Abb. 6. Vergrößerung ca. 250 1. Querschnitt oberhalb der Wurzelspitze. Diarche Gefäßbündelanlage. a = Primäre Gefäße, b = prim. Siebteil, c = Procambiales Gewebe, p = Perizykel, e = Endodermis, r = prim. Rinde, h = Wurzelhaar.

Die Erstlinge der primären Gefäße werden an zwei gegenüberliegenden Stellen des Zentralzylinders angelegt (Abb. 6).

Wir haben es also mit einer ursprünglich diarchen Wurzel zu tun. Die beiden primären Xylemteile vergrößern sich durch Um- und Neubildung von Gefäßen zentripetal und vereinigen sich in der Mitte, so daß eine zusammenhängende

Xylemplatte entsteht, die den Zentralzylinder in zwei Hälften zerlegt. Diese setzt sich, wie der Längsschnitt zeigt, aus spiralig verdickten und porösen Gefäßen zusammen.

Zu beiden Seiten dieser Xylemplatte schließt sich eine Lage parenchymatischer Elemente an, gegen die sich nach außen die beiden in der Richtung der Xylemplatte gestreckten Phlcëm-

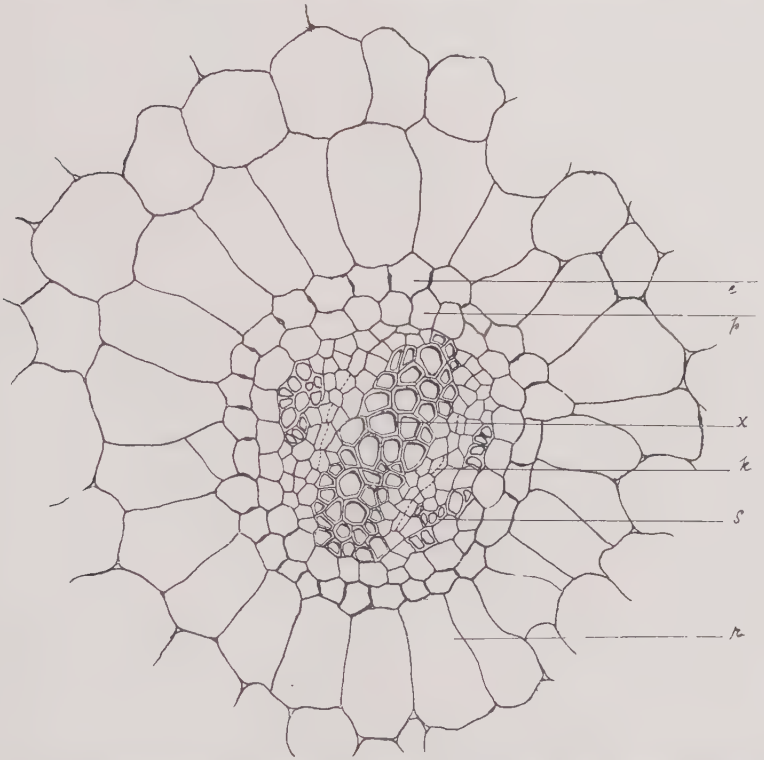

Abb. 7. Vergrößerung ca. 350/1 Querschnitt durch eine junge Wurzel. e = Endodermis, p = Perizykel, x = Xylemplatte, k = Kambium, s = Siebröhren, r = Primäre Rinde.

gruppen lagern; diese stoßen außen unmittelbar an das Perizykel. Die Siebzellen heben sich durch ihre Form von dem umgebenden Parenchym ab.

2. Sekundäres Stadium.

In der zwischen Phlcëm und Xylem gelegenen Schicht von Zwischengewebe bildet sich zu beiden Seiten der Xylemplatte

ein Kambiumstreifen aus, ohne sich zunächst um deren Enden herum zu vereinigen (Abb. 7). Dieser produziert faszikulares, gefäßreiches Holz und faszikularen Bast. Der letztere schließt auch direkt an das primäre Phloëm an, ebenso das nach innen abgegebene Holzgewebe an die vorgebildete Gefäßplatte. Erst später bilden sich durch tangentiale Teilungen in den Zellen des Perizykels auch über der Gefäßplatte Kambiumstreifen aus, und dadurch wird der Kambiumring geschlossen.

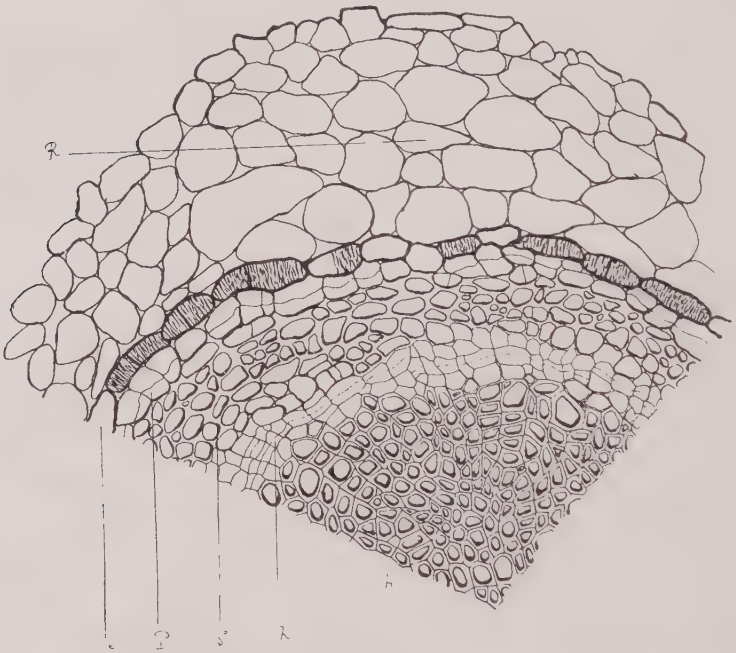

Abb. 8. Vergrößerung ca. 265/1. Querschnitt durch eine ältere Keimwurzel. R = Prim. Rinde, im Begriff abgestoßen zu werden, e = Endodermis (Wandverdickung) P = Phellogen, S = sekundäre Rinde, K = Kambium, H = Holzkörper.

Die Fähigkeit des Perizykels, Kork zu bilden, führt zum Abwerfen der primären Rinde.

Dieser Vorgang findet sowohl bei Haupt- wie Nebenwurzeln annähernd gleichzeitig statt, d. h. beide besitzen zu dieser Zeit ungefähr gleiche Stärke (Abb. 8).

Einige Zeit nach der Bildung des geschlossenen Kambiumringes verkorkt die Endodermis, und die darunter liegenden

Zellen des Perizykels teilen sich in tangentialer Richtung in eine (äußere) Korkzelle und eine innere Zelle, welche als Korkkambiumzelle weiter funktioniert. Der Kork nimmt an Ausdehnung zu, es entstehen 4—5 Lagen von Korkzellen. Die Endodermiszellen sind bei der Vergrößerung des Wurzeldurchmessers stark tangential gestreckt worden. Einzelne lassen noch regelrechte Quer-

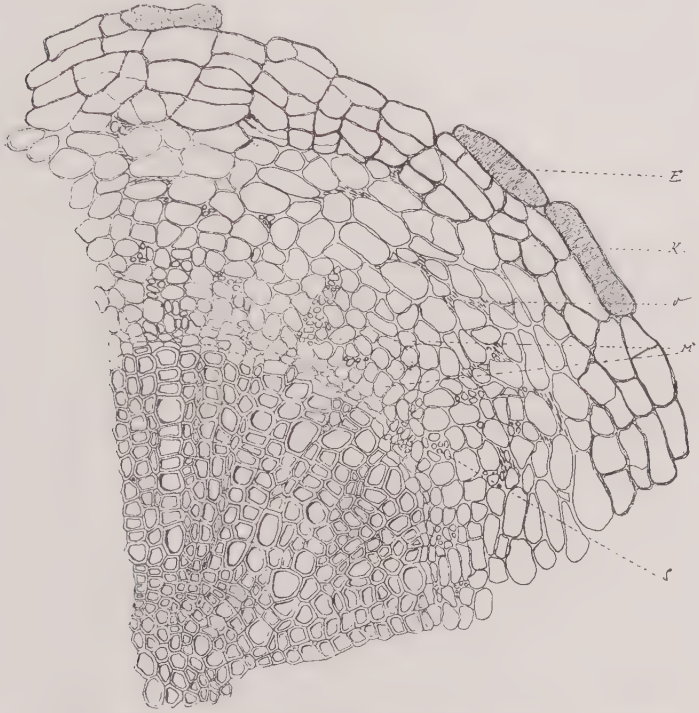

Abb. 9. Vergrößerung ca. 203/1. Querschnitt durch die weiter entwickelte Wurzel nach Verlust der primären Rinde. E = noch erhaltene Endodermiszeilen, K = Kork, O = oblit. Siebröhren, M = Markstrahlen, S = Siebröhrengruppen.

wände erkennen; durch Zellvermehrung wird so einer Zerreißung vorgebeugt.

Eigenartig sind die Verdickungen in den Wandungen der Endodermiszellen, welche Zellulosereaktion geben (Abb. 8).

Die Wandungen des primären Rindenparenchyms, welche bereits eingeschrumpft sind, zerreißen an einzelnen Stellen, und

die primäre Rinde schülfert sich in unregelmäßigen Fetzen bis zur Endodermis ab. Die verkorkte Endodermis ist hierauf vorläufig die äußerste Schicht; sie ist deutlich unterschieden von den streng rechteckig tafelförmigen Korkzellen.

Mit dem Abfallen der äußeren Korklagen schwindet auch die Endodermis (Abb. 9).

In Anbetracht seiner Fähigkeit, Nebenwurzeln zu erzeugen, nannte van Tieghem das Perikambium (Perizykel) „Rhizogene Schicht". Alle Zellen desselben sind hierzu jedoch nicht gleichmäßig befähigt, sondern es sind vielmehr nur diejenigen „rhizogen", welche vor den primären Gefäßstrahlen liegen. Danach ist bei der Senegawurzel die zweizeilige Anordnung der Nebenwurzeln erklärlich.

Die Entstehung der Nebenwurzeln erfolgt in einem Moment, wo der Kambiumring noch nicht gebildet ist. Der zentrale Holzteil und die beiden seitlichen Siebgruppen beteiligen sich direkt an der Bildung der Nebenwurzeln.

Noch bevor die junge Nebenwurzel die primäre Rinde durchbrochen hat, erkennt man an ihrer Spitze die Differenzierung in die verschiedenen Gewebe (Haube, Dermatogen, Rinde, Zentralzylinder).

Sobald einmal die Wurzel in das Stadium des sekundären Dickenwachstums eingetreten ist, vollzieht sich in der Anordnung des allgemeinen Wurzelbaues unter allseitiger Gewebevermehrung ein allmählicher Übergang zur Struktur, wie sie durch die Wurzeln mehrjähriger Pflanzen präsentiert wird.

Betrachten wir darum eine mehrjährige Wurzel getrennt auf Quer- und Längsschnitten.

Ich folge hier z. T. den Angaben von L. Koch (Pulveratlas).

Querschnittansicht (Abb. 10 u. 10a).

Wie wir gesehen haben, wird die primäre Rinde schon frühzeitig abgeworfen, und die Wurzel wird bedeckt von der Endodermis oder dem unter ihr entstandenen Kork. Dementsprechend haben wir bei älteren Wurzeln als äußerste Schicht einen 4 bis 6reihigen Kork.

Die dünnwandigen, ungleich großen Korkzellen sind tangential oft stark gestreckt; sie zeichnen sich durch die hellgelbe

Färbung ihrer Wandungen aus. Zusammengefallene, gelb- bis schwarzbraune Reste ehemaliger Korkzellen bilden nicht selten eine dünne, die Wurzel bedeckende Lage. Die darunter liegende Schicht (Mittelrinde), in der Literatur irrtümlich als Phelloderm bezeichnet, besteht aus tangential-gestreckten, durch Radial-

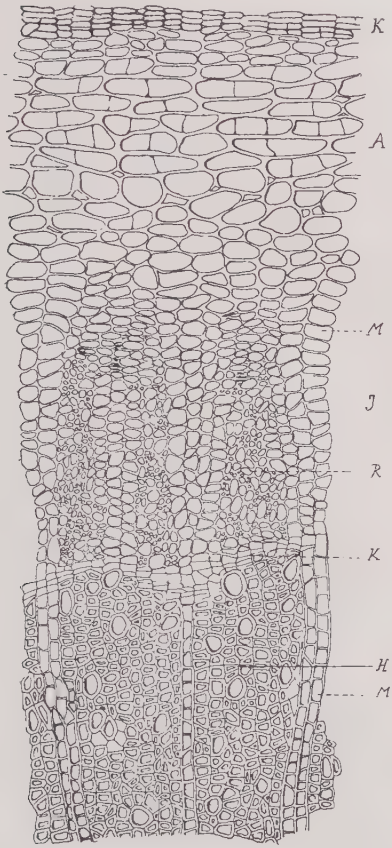

Abb. 10. Vergrößerung ca. 113/1. Querschnitt durch eine mehrjährige normale Wurzel.
K = Kork, A = Außenrinde, J = Innenrinde, M = Markstrahlen, R = Rindenstrahlen, K = Kambium, H = Holzstrahl.

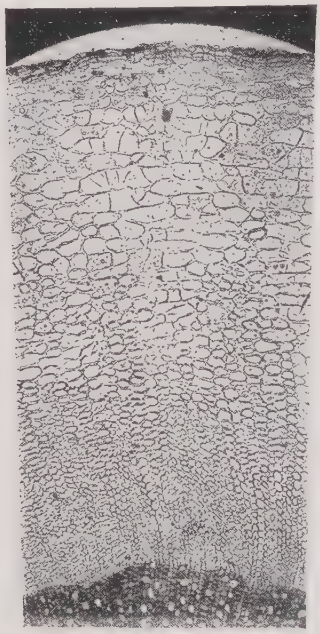

Abb. 10a. Vergr. ca. 50/1.

wände sich teilenden, derbwandigen, annähernd elliptischen Zellen, die entwicklungsgeschichtlich ihren Ursprung nicht dem Kork verdankt. Die Verdickung in den Ecken ist nicht so beträchtlich, daß dieses Gewebe, wie es öfters der Fall war, als Kollenchym bezeichnet werden kann, zumal es sich in der Dicke

der Zellwandungen von dem übrigen parenchymatischen Gewebe der Rinde nicht differenziert; denn alle Parenchymzellen der Rinde weisen gewissermaßen eine Verdickung auf. Das ganze Gewebe der Rinde führt ölige Tropfen; die Schnitte färben sich mit Schwefelsäure schön rot (Saponinreaktion).

Die ziemlich mächtig entwickelte Innenrinde besteht aus Markstrahlen, die allerdings nur bis gegen die äußeren Teile der Innenrinde hin scharf als solche hervortreten, weiter außen allmählich mit dem Parenchym verschmelzen. Wir finden ein- bis dreireihige, in Ausnahmefällen aber auch mehrreihige Strahlen. Ihre Zellen sind in der Nähe des Kambiums dünnwandig, klein, polygonal. An mittleren und besonders äußeren Teilen des Strahls werden die Zellen größer und derbwandiger, sie runden sich unter Annahme kreisförmiger bis elliptischer Umrisse ab.

Die zwischen den Markstrahlen liegenden Bast- oder Rindenstrahlen erscheinen als ungleich große, nicht immer scharf abgegrenzte Gewebekomplexe. Entsprechend der Verbreiterung der Markstrahlen in den äußeren Rindenpartien werden sie hier schmäler. Sie bestehen aus Parenchym und den eigentlichen Siebröhrensträngen. Das Parenchym ist derartig angeordnet, daß man von radialen Reihen sprechen kann. Bei schmalen Baststrahlen stoßen derartige Radialreihen an die Markstrahlen an, bei breiten finden wir sie mehr in der Mitte liegend. Die polygonalen bis kreisrunden oder elliptischen Zellen sind in den inneren und mittleren Teilen der Baststrahlen zartwandig und klein, in den äußeren Partien größer und fortschreitend derbwandiger. In ihrer Ausbildung findet hier ein allmählicher Übergang zu den bereits oben beschriebenen Elementen der Außenrinde statt.

Die Siebröhrenstränge sind stark entwickelt, in einfachen oder doppelten Radialreihen, je nach der Breite des Markstrahls. Dementsprechend sind sie entweder umgeben von Bastparenchym oder dieses liegt zwischen zwei Siebstrahlen. Die äußeren Siebröhrenstränge sind zusammengefallen, die inneren bestehen aus kleinen, auf dem Querschnitt polygonalen Zellen, die hauptsächlich durch stärkere Lichtbrechung in die Erscheinung treten. Sklerenchymatische Elemente fehlen der Rinde vollkommen.

Das schmale Kambium ist oft gar nicht leicht festzustellen, da auch die zunächstliegenden Abkömmlinge desselben bereits ihre definitive Ausbildung erlangt haben.

Der gelbliche Holzkörper entspricht bei einer dreijährigen Wurzel etwa einem Drittel des Querdurchmessers.

Ein Mark fehlt vollständig.

Bei älteren Wurzeln ist es schwer, die Lage der primären Gefäße aufzufinden, jedoch kennzeichnet sich stets deutlich ein innerer Kern primären Holzes, der gebildet wird aus dem Zweistrahl der primären Gefäße, umgeben von zahlreichen Holzzellen, deren Lumina sich auf dem Querschnitt von denen der primären Gefäße unterscheiden, sowie einigen wenigen sekundären Gefäßen. In den oberen Partien der Wurzel sind die Gefäße deutlich kreisförmig angeordnet und es bestehen in regelmäßigen Abständen Zonen von größerer Dichte, so daß man hier von Jahresringen sprechen kann. Eine scharfe Differenzierung in Jahresringe ist im unteren Verlauf der Wurzel nicht festzustellen.

Bei den Markstrahlen des Holzkörpers handelt es sich weniger um deutlich ausgeprägte Strahlen parenchymatischen Gewebes, als um Zellelemente, welche die Funktion der Markstrahlen besorgen. Am besten lassen sie sich noch nahe dem Kambium erkennen: hier sind die Zellen dünnwandig (unverholzt) und radial etwas gestreckt. Sehr bald zerfallen sie aber durch Tangentialwände in kleinere Formen, werden derbwandiger und zeigen mit Phloroglucin und Salzsäure Rotfärbung. Man braucht in der Regel nicht tief in den Holzkörper einzudringen, um Markstrahlzellen zu finden, die in bezug auf Größe, Form und Verdickung mit den Zellen der benachbarten Holzstrahlen so ziemlich übereinstimmen. Damit verwischt sich die Grenze zwischen Mark- und Holzstrahlen und es entsteht ein scheinbar einheitlicher innerer Aufbau des Holzkörpers.

Abb. 10 zeigt einen Schnitt durch die obere Partie einer älteren Wurzel, wo die Markstrahlen in den äußeren, jüngeren Partien des Holzes als solche deutlicher hervortreten, während dies bei jüngeren Wurzeln (vgl. Abb. 9 u. 8) nicht der Fall ist.

Erwähnt sei, daß räumlich allerdings nicht beträchtliche Strahlenteile auf einer früheren Entwicklungsstufe verharren können. Innerhalb eines noch mit Mühe zu verfolgenden Mark-

strahls liegen dann kleine Inseln dünnwandiger, unverholzter Zellen. Zuweilen werden sie verstärkt durch kleine Mengen ähnlichen Parenchyms des benachbarten Holzstrahls.

An die Baststrahlen der Rinde anschließend haben wir, aber auch nur in den äußeren Teilen des Holzkörpers, und zwar durch die hier deutlicher sich abhebenden Markstrahlen begrenzt, die Holzstrahlen. Nach innen zu läßt sich keine scharfe Differenzierung in Mark und Holzstrahlen erkennen.

Die Holzstrahlen werden aus folgenden Elementen zusammengesetzt:

Fasertracheiden. Diese bilden die Hauptmasse des Holzes. Sie erscheinen auf dem Querschnitt als polygonale, hier und da tangential etwas gestreckte Zellen. Die Poren sind kaum sichtbar (vgl. Längsschnittansichten).

Gefäße und Tracheiden. Dahin gehören zahlreiche, regellos in den Holzkörper eingestreute, abgerundete bis polygonale Formen, die in mehr oder weniger deutlichen Reihen angeordnet und durch die Größe gekennzeichnet sind. Sie sind derbwandig und in der Regel leer; doch findet man hier und da auch Gefäßelemente, die mit einer gelben, harzähnlichen Masse oft nahezu ganz ausgefüllt sind. Bezüglich der Wanddurchbrechungen vgl. Längsschnittansichten.

Das Parenchym ist quantitativ so zurücktretend, daß es oft schwer aufzufinden ist. Es besteht aus kleinen, meist polygonalen, überwiegend dünnwandigen Zellen in der Nähe der Gefäße oder unverholzter Teile der Markstrahlen (s. o.). Stärker verdickte Parenchymzellen kommen als Übergänge zu den Fasertracheiden ebenfalls vor.

Längsschnittansichten.

Radialer Längsschnitt.

Der Kork besteht aus überwiegend recht niederen, annähernd quadratischen Zellen.

Die derbwandigen Zellen der anschließenden Mittelrinde haben kreisrunde bis elliptische Gestalt.

Innenrinde. Infolge gleichartiger Ausbildung der verschiedenen Elemente sind die einzelnen Typen nur schwer zu erkennen. Besonders die Markstrahlen sind in den äußeren

Teilen der Innenrinde selten deutlich als solche zu ermitteln. Ihre Elemente bestehen aus axial fast stets gestreckten, was den Grad der Streckung anbetrifft aber verschiedenen, in der äußeren Rinde derb-, in der inneren zartwandigen Zellen; Zellbreite nach dem Kambium hin abnehmend.

Das Parenchym der Baststrahlen ist sehr ähnlich demjenigen der Markstrahlen (s. o.). Außen sind die Zellen ebenfalls derbwandig und gestreckt elliptisch.

Die Siebröhrenstränge erscheinen als Lagen stark gestreckter, meist dünnwandiger und sehr schmaler Zellen.

Holzkörper.

Die Markstrahlen des Holzkörpers sind in ihrem Verlauf noch schwerer zu verfolgen als die entsprechenden Strahlen der Rinde. Nur an äußeren Strahlenteilen (Eintrittstelle in den Holzkörper) ist das anatomische Bild leidlich befriedigend. Die axial etwas gestreckten Zellen sind zunächst dünn-, bald aber schon derbwandig, bei zunehmend stärkerer Lichtbrechung der Querwände. Hier beginnt eine faserförmige Zuspitzung, die schließlich zu mehr oder weniger ausgesprochener Faserform und damit zur Verwischung der Unterschiede gegenüber ähnlichen Elementen der benachbarten Holzstrahlen führt. In den Holzstrahlen sind die Gefäße als die breitesten Röhrenglieder deutlich gekennzeichnet, die entweder durch große offene Poren der Querwände miteinander in Verbindung stehen oder deren Querwände vollständig resorbiert sind, wobei die Ansatzstelle noch als Ring sichtbar ist. Die Verdickung ist meist behöft-porös; in der Flächenansicht quergestellte kreisrunde bis elliptische Tüpfel; in der Profilansicht zylindrische Kanälchen, von denen je zwei in einen linsenförmigen Hohlraum, den Hof der Pore münden.

Größere unbehöfte Tüpfel, als Übergang zu netzförmiger Verdickung, kommen an einzelnen Gefäßen vor. Die Breite der größeren Gefäße beträgt 30—45 *mikr.*, die Länge 180—240 *mikr.*

Die Tracheiden stimmen in bezug auf Größe und Verdickung mit den echten Gefäßen so ziemlich überein. Sie unterscheiden sich von ihnen durch die geschlossenen, behöften wie unbehöften Poren der Querwände. In beiderlei Gefäßen können gelbe harzähnliche Massen, die hier besser hervortreten als auf dem Quer-

schnitt, enthalten sein. Die Durchschnittsmaße sind folgende: Länge 180—250 *mikr.*, Breite 13—20 *mikr.*

Es fehlen uns noch die Fasertracheiden und das Parenchym.

Erstere stellen ausgesprochene, meist scharf zugespitzte Fasern dar, die wie die Gefäßelemente, also überwiegend behöft-porös, verdickt sind. Derartige Poren sind allerdings in der Regel schräg gestellt.

Übergangsformen zu echten Holzfasern (mit schräggestellten zarten Spaltentüpfeln) und zu gefäßähnlichen Tracheiden (breitere Formen mit Neigung zur Querstellung der behöften Tüpfel) lassen sich vereinzelt feststellen.

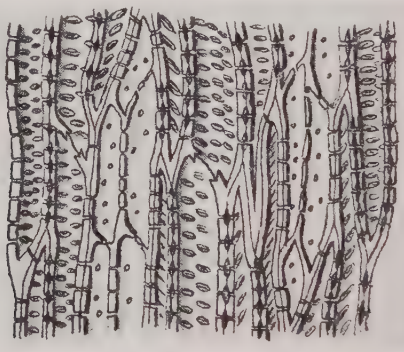

Abb. 11. Vergr. ca. 250/1. Tangentialer Längsschnitt durch die äußere Partie des Holzkörpers.

Parenchym finden wir nur sehr selten. Seine Zellen sind mehr oder weniger rechteckig, dünn- bis derbwandig, mit meist unbehöften, kreisrunden oder elliptischen Tüpfeln.

Tangentialer Längsschnitt (Abb. 11).

Hier interessiert im wesentlichen nur der Holzkörper. Besonders an den Elementen seiner Holzstrahlen tritt das faserförmige Gefüge schärfer hervor als auf dem radialen Längsschnitt (Abb. 11).

Ebenfalls faserförmig, mit kurzen, mehr oder weniger scharf zugespitzten Formen sind die Zellen der Markstrahlen; sie fallen dem umgebenden Gewebe gegenüber kaum auf, entziehen sich somit leicht der Untersuchung.

Befund.

In der Literatur wird angegeben, daß die aus Amerika bezogene Droge, wenn auch nicht durchgehend so doch bei einer großen Anzahl Wurzeln einen anormalen Holzteil aufweist (s. o.).

Wie bereits erwähnt, wird dieser anormale Bau des Holzes auf verschiedene Weise erklärt.

Linde[1]) hält die Ausbildung des Kiels und des Parenchymkeils im Holzkörper für eine erbliche und konstant anzutreffende Eigenschaft der Senegawurzel, durch welche das speichernde und leitende Parenchym der Pflanze vermehrt werde.

A. Meyer[2]) sucht eine Erklärung darin, daß die Verkürzung der Wurzeln durch den geschilderten anatomischen Bau erleichtert werde, da einmal die aus langen Zellelementen bestehende, daher kontraktionsfähige Innenseite (Kiel) verstärkt sei, der Widerstand der Außenseite dagegen durch Schwächung des Holzkörpers und Kleinheit der isodiametrischen Rindenelemente vermindert werde.

Es war mir nicht möglich, zu diesen Angaben positive Stellung zu nehmen. Sämtliche aus der Kultur des Herrn Dr. Siegfried in Zofingen erhaltenen, wie auch sämtliche von mir gezogenen Pflanzen, von denen in Summa über 20 ausgewachsene Wurzeln durchmikroskopiert wurden, ließen niemals auf Schnitten aus den verschiedensten Lagen einen anormalen Holzbau erkennen. Auf die mögliche Ursache dieses stets normalen Baues komme ich später zu sprechen.

Sproß.

Aus der Wurzel entspringen in den Achseln der schuppigen Niederblättchen der vorjährigen Achsen, an Zahl von Jahr zu Jahr zunehmend, im allgemeinen einfache, bis 40 *cm* lange, aufrechte, hohle, im Querschnitt runde Sprosse. Sie sind mit Blättern besetzt, deren untere schuppenförmig sind, während sie nach oben hin sich verlängern und allmählich in die sitzenden Laubblätter übergehen (Abb. 12).

Um den Bau des Stengels in seinem jüngsten Stadium kennen zu lernen, untersuchen wir am besten Querschnitte durch

[1]) L. C.
[2]) L. C.

das hypokotyle Glied von jungen Pflänzchen zu einer Zeit, da erst die beiden Kotyledonen entwickelt sind: Das Hypokotyl erreicht dann eine Länge von 2—3 *cm*. Während die Wurzel einen axial verlaufenden, völlig geschlossenen homogenen

Abb. 12 ca. 1/3 nat. Größe.
Blühender Stock einer mehrjährigen Pflanze.

Holzzylinder aufweist, bemerken wir auf den Querschnitten durch das Hypokotyl, daß die Gefäße einen ununterbrochenen Ring bilden, der nach außen durch die Rinde, nach innen durch Markgewebe begrenzt ist. Beim Übergang von Wurzel in Hypo-

kotyl teilt sich der zentrale Holzkörper der Wurzel in zwei halbkreisförmige Segmente, die sich weiter oben gleich wieder zu einem ununterbrochenen Ring zusammenschließen. Der Siebteil, der ja in der Wurzel schon ringförmig angeordnet ist, nimmt an dieser Aufspaltung des Holzteils keinen Anteil und setzt sich im Hypokotyl kontinuierlich fort. Der Holzring wird gebildet aus mehreren in konzentrischen und radialen Reihen angeordneten Lagen von Gefäßen und Holzfasern, die eng aneinander schließen. Das Mark besteht aus mehr oder weniger isodiametrischen Parenchymzellen, deren Durchmesser von der Mitte gegen die Peripherie hin abnimmt. Die Breite des Holzringes übertrifft diejenige des Siebteils. Der Siebteil wird umgeben durch die deutlich hervortretende einreihige Schicht des Perizykels, dessen Zellen bedeutend größer sind als die anstoßenden Siebelemente. Die Zellen der Endodermis zeigen die gleiche Struktur wie in der Wurzel; sie haben dieselbe Wandverdickung. Der Zentralzylinder ist seinerseits umhüllt von einer stark ausgebildeten primären Rinde. Ihre großen Zellen schlossen ursprünglich eng zusammen und hatten mehr polygonale Gestalt, traten dann aber mehr und mehr auseinander und rundeten sich ab, indem sie ziemlich große Interzellularen zwischen sich freiließen. Diese primäre Rinde ist etwa fünf Zellagen tief. Nach außen wird das Hypokotyl begrenzt von einer Epidermis. Ihre Zellen sind kleiner als die der Rinde. Die Außenwand dieser Epidermiszellen ist verdickt und mit einer Cuticula überzogen. Verwendet man zur Färbung Chrysoidin-Kongorot, so ergibt sich eine klare Differenzierung der verschiedenen Gewebe: die Cutikula färbt sich schön gelb, die Wandungen der primären und sekundären Rindenelemente mit Ausnahme der Endodermiszellen (die gelb werden) rosa, die Holzelemente gelb und das Markparenchym rosa.

Wir sehen aus dieser Beschreibung, daß das Hypokotyl unter Beibehaltung der Endodermis der Wurzel sich doch ganz deutlich von dieser unterscheidet durch das Auftreten von Markgewebe im Zentrum des Holzkörpers und hauptsächlich durch das Vorhandensein einer eigentlichen dauernden Epidermis.

Verfolgt man die Anatomie des hypokotylen Gliedes weiter in aufsteigendem Sinne gegen die Kotyledonen zu, so erkennt

man, daß die Endodermis allmählich ihren Charakter verliert und schließlich überhaupt nicht mehr als solche festzustellen ist.

Auf Schnitten durch das Epikotyl erkennen wir nichts mehr, das uns an die Endodermis der Wurzel erinnern könnte; diese ist charakteristisch für Wurzel und Hypokotyl.

Etwas unterhalb der Abzweigungsstelle der beiden Kotyledonen findet eine Aufteilung des Holzringes und der korrespondierenden Siebelemente in 4 Teilstücke statt. Es entstehen in kreuzweis gegenständiger Anordnung zwei Halbbogen und zwei

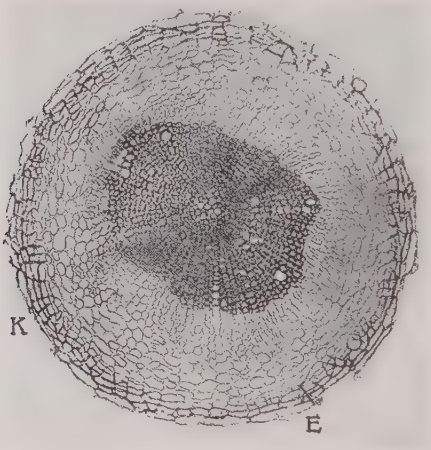

Abb. 13. Vergr. 70/1. Querschnitt durch die obere Partie der Wurzel. Die primäre Rinde ist abgeworfen; zu äußerst sind noch einige Zellen der Endodermis E = (zum Teil durch sekundäre Teilungen vergrößert) zu erkennen; K = ein mehrreihiger Kork begrenzt die Rinde. Der Holzkörper ist homogen.

kleinere Blattspurbündel. Die letzteren treten unmittelbar in die Kotyledonen ein, während die beiden aus Holz- und Siebelementen gebildeten Bogenstücke sich wieder vereinigen und neuerdings einen geschlossenen Ring darstellen.

Etwas komplizierter gestalten sich die Verhältnisse dieser Partie bei älteren Pflanzen, wo der Hauptsproß bereits beträchtliche Größe erreicht hat, und auch die in den Achseln der Kotyledonen angelegten Triebe fürs nächste Jahr sich etwas gestreckt haben, während zu beiden Seiten dieser Sekundärsprosse bereits

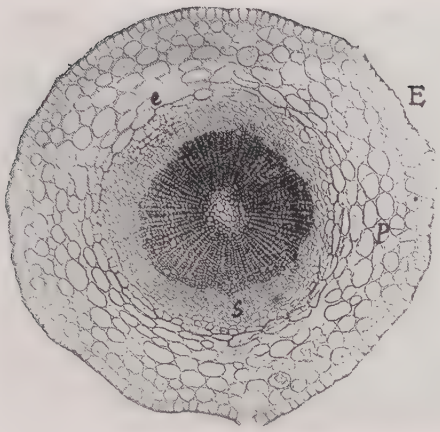

Abb. 14. Vergr. ca. 55/1. Querschnitt durch das Hypokotyl derselben Wurzel. Charakterische Epidermisbildung = E, primäre Rinde = P, noch erkennbare sekundär veränderte Endodermis = e, sekundäre Rinde = S, im Zentrum des Holzkörpers erste Anfänge von Markbildung.

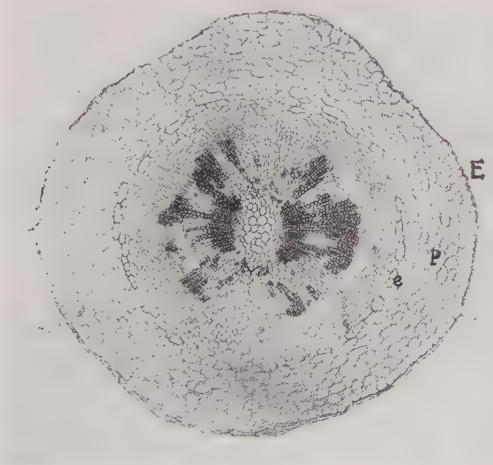

Abb. 15. Vergr. ca. 40/1. Querschnitt durch dieselbe Pflanze weiter oben. Epidermis = E, primäre Rinde = P wie bei Abb. 14, Endodermis = e weniger charakteristisch, starke Aufteilung des Holzkörpers, wobei sich bereits deutlich zwei sich gegenüberliegende innere Holzpartien abheben. Vermehrtes Markgewebe.

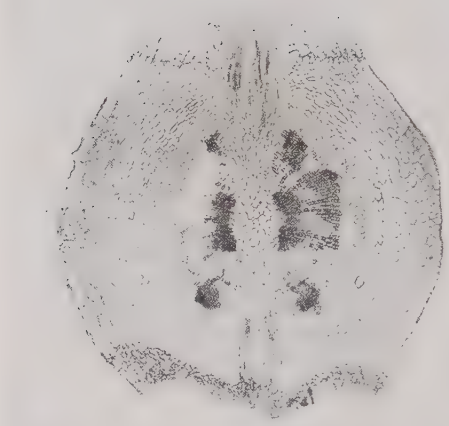

Abb. 16. Vergr. ca. 40/1. Succedaner Querschnitt. Nach der Seite abgehende Gefäßbündel, die sich an der Bildung des Gefäßringes der primären Seitensprosse beteiligen.

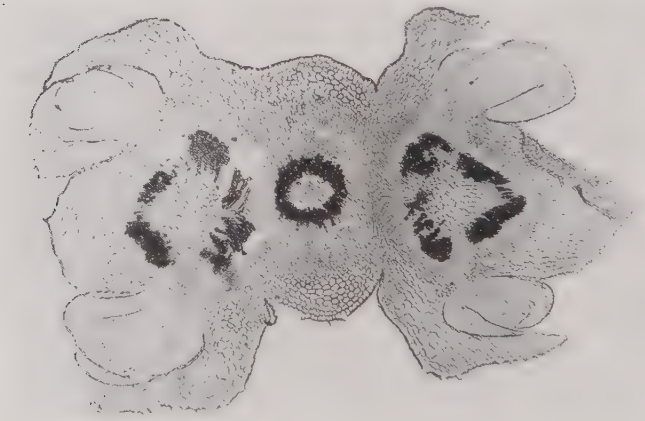

Abb. 17. Vergr. ca. 26/1. Succedaner Querschnitt. In der Mitte geschlossener Ring des Hauptsprosses. Zu beiden Seiten Gefäßelemente, im Begriff zu je einem Ring der primären Sprosse zusammenzutreten. In den Achseln dieser die Anlagen der sekundären Sprosse.

die Anlagen weiterer Triebe zu erkennen sind (vgl. Entstehung des Wurzelkopfes p. 28).

Eine Serie von Querschnitten zeigt in aufsteigender Reihenfolge den Verlauf des Gefäßbündelsystems dieser Partie.

Der aus Sieb- und Holzelementen zusammengesetzte Ring des jungen Stengels bleibt bis unterhalb des ersten Laubblattes erhalten. Hier bricht er auseinander und ein Segment des Ringes differenziert sich als Blattspurbündel, das alsbald den Stengel verläßt. Entsprechend der bei den zuerst angelegten Blättern

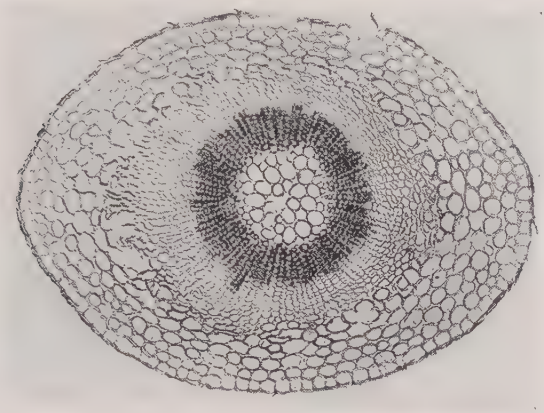

Abb. 18. Vergr. ca. 70 1. Der aus dem Verband mit den Seitensprossen losgelöste Hauptsproß.

sozusagen gegenständigen Stellung ist auf der gegenüberliegenden Seite des Gefäßringes ebenfalls eine Aufspaltung zu sehen; auf einer kurzen Strecke lassen sich auf den Querschnittsbildern demnach zwei gegenüberliegende aus dem Holzring ausscheidende Gefäßpartien wahrnehmen.

Vergleichen wir die Anatomie zweier in ihrer Entwicklung ziemlich weit auseinanderliegender Internodien, so zeigen sie im allgemeinen übereinstimmende Verhältnisse: ein relativ großes Mark, einen mehr oder weniger geschlossenen Holzkörper, ursprünglich aus 5 Gefäßbündeln bestehend, und einen geschlossenen, nur durch ein- bis zweireihige Markstrahlen getrennten Siebteil (Abb. 19).

Außerhalb des Siebteiles baut sich die Rinde aus mehreren Lagen parenchymatischer Zellen auf. Der einzige aber bemerkenswerte Unterschied zwischen dem unteren und dem oberen Internodium ist der, daß in dem unteren Internodium außerhalb des Siebteils Bastfasern entstehen.

Ein in mittlerer Höhe ausgeführter Querschnitt durch den Sproß zeigt immer dieselben Verhältnisse (Abb. 20).

Die einlagige Epidermis wird gebildet von beinahe quadratischen bis schwach tangential gestreckten Zellen mit etwas gewölbter Außenwand. Einzelne dieser Zellen sind zu Haaren ausgewachsen. Ihre Außenwand ist von einer recht beträchtlichen

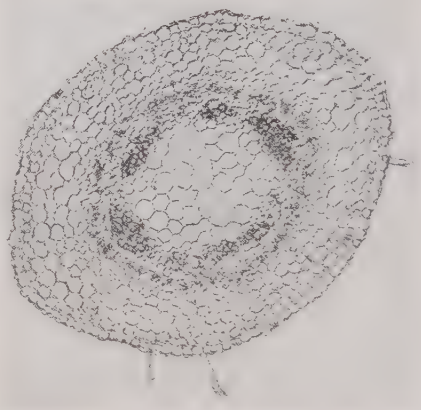

Abb. 19. Vergr. ca. 80/1.
Querschnitt durch einen jungen Sproß.

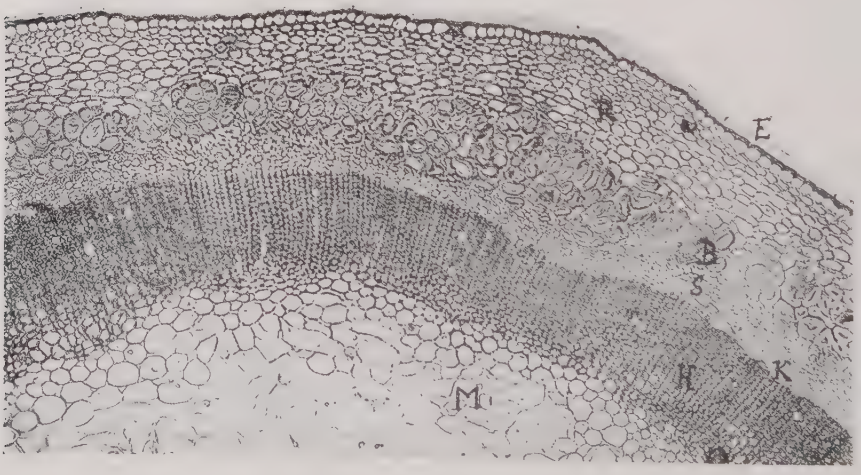

Abb. 20. Vergr. ca. 80/1. Querschnitt durch einen ausgewachsenen Sproß. E = Epidermis, a = assimilierende Schicht, R = Rindenparchym, B = Bastfaserring, S = Siebteil, K = Kambium, H = Holzring, M = Mark.

Cuticula bedeckt, die an Mächtigkeit der darunterliegenden Zellulosemembran gleichkommt.

Die Verdickung der Epidermiszellen beschränkt sich auf die Außenwand, während wir an der Basis des Stengels auch bisweilen eine netzartige Tüpfelung der Seitenwände feststellen können.

Die Haare zeigen eine feinkörnige Oberfläche. Sie sind einzellig, ihre Länge übertrifft oft die Höhe der Epidermiszellen um das Sechs- bis Zehnfache. Ihre Spitze ist mehr oder weniger umgebogen und häufig bis zum völligen Verschwinden des Lumens verdickt.

Die Spaltöffnungen haben allgemeinen Bau; sie sind ziemlich zahlreich über die gesamte Oberfläche des Stengels verbreitet; bisweilen ragen sie etwas über die Epidermis hinaus oder sind auf der gleichen Höhe wie die übrigen Zellen eingefügt. Die Schließzellen sind nur halb so groß als die benachbarten Epidermiszellen.

Unterhalb der Epidermis finden sich ein bis zwei Schichten runder, isodiametrischer, chlorophyllhaltiger Zellen. Ihre Wandungen sind bisweilen etwas kollenchymatisch verdickt. In diesen assimilierenden Zellen bemerkt man auch ölige Tropfen und Stärke.

Dieser Zone folgt ein aus sechs bis acht Reihen bestehendes Rindenparenchym, dessen Zellen in ihrer Gestalt ungefähr mit denjenigen der assimilierenden Schicht übereinstimmen, nur daß sie gegen die Mitte zu größer werden und deutliche Interzellularen erkennen lassen.

Hieran schließt sich ein aus mehreren Lagen bestehender Bastfaserring, welcher in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle geschlossen ist, oder doch nur wenige den Markstrahlen entsprechende Unterbrechungen aufweist.

Die Länge der Bastfasern beträgt bis zu 7 *mm*, die Breite 0,045—0,060 *mm*. Die Dicke der Wand ist bisweilen bei ein und derselben Bastzelle verschieden. Die sekundären Verdickungsschichten zeigen deutlich konzentrische Streifung. Sie sind unverholzt und geben ausgesprochene Zellulosereaktion. Der Querschnitt der Bastzellen ist infolge des gegenseitigen Druckes meist eckig bis polyedrisch, doch kommen hier und da auch

rundliche, bandförmig zusammengedrückte und verbogene Querschnittsformen vor. Isoliert liegende Bastzellen zeigen meistens rundlichen Querschnitt. Da die Enden der Bastzellen des Ringes nicht in einer Ebene liegen, so besitzen die Elemente desselben an einer bestimmten Stelle des Querschnittes meist einen sehr verschiedenen Durchmesser, da die eine Zelle in der Mitte, eine andere mehr oder weniger gegen das Ende hin getroffen wurde.

Der Siebteil besteht aus relativ wenigen und engen Elementen. Das Kambium ist ein- bis mehrreihig.

Es folgt ein geschlossener Holzring von verschiedener Mächtigkeit je nach der Höhe des Stengels, welcher der Schnitt entnommen wurde.

Die Elemente des Holzes sind in regelmäßige Radialreihen angeordnet. Die Gefäße zeigen infolge eines gegenseitigen Druckes, dem sie im Ring ausgesetzt sind, vielfach ein radial längliches Lumen. In der Mehrzahl sind es ungefähr 20 *mikr.* weite Spiralgefäße, die sich hauptsächlich auf der dem Mark zugewendeten Seite vorfinden. Die Wandungen der jüngeren Gefäße sind hingegen mit behöften Tüpfeln versehen. Nach außen sind eigentliche Gefäße seltener und das Holz besteht fast ausschließlich aus Tracheiden und Holzfasern, deren Tüpfel verschiedene Weite haben.

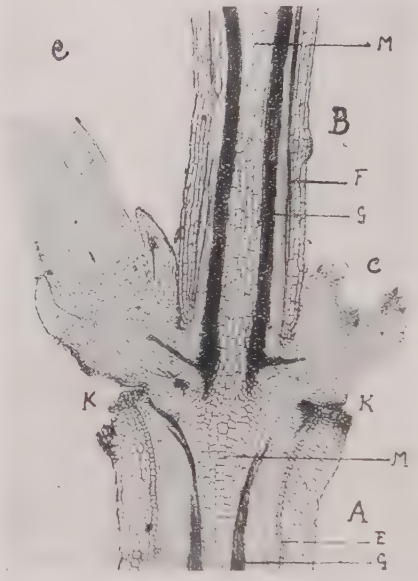

Abb. 21. Vergr. ca. 25/1.
Längsschnitt aus der Übergangspartie von Hypokotyl in Stengel.
A = Hypokotyl, B = Stengel, C = Sproßknospen, K = Narben der abgefallenen Kotyledonen, E = Endodermis des Hypokotyls, F = Bastfasern, G = Gefäße, M = Mark.

Markstrahlen treten nur undeutlich hervor.

Der Holzring umschließt ein Markgewebe, dessen Zellen gegen die Mitte zu größer werden. Der Verband der Markzellen wird immer lockerer und die fortschreitende Auflösung des Gewebes führt schließlich zu einem ausgesprochenen Hohlraum.

Längsschnitt. Die Epidermiszellen sind in der Längsrichtung der Achse bedeutend gestreckt. Ebenso weisen die Zellen der daruntergelegenen assimilierenden Schicht einen größeren Längs- als Querdurchmesser auf; dasselbe gilt für das farblose innere Rindenparenchym, nur daß diese Zellen noch etwas länger sind.

Wir stoßen dann auf die längsgeschnittenen Bastfasern, die infolge ihrer großen Länge selten in ihrer gesamten Ausdehnung verfolgt werden können. Sie greifen mit spitzen Enden ineinander (Abb. 21).

Daran schließt sich Phloëmparenchym mit darin eingebetteten Siebröhren. Letztere sind schwer aufzufinden, da sie bedeutend schmäler sind als das Parenchym der Siebgruppen und sehr dünne Wandungen besitzen, durch welche die darunterliegenden Schichten durchschimmern.

Der Holzring besteht in den äußeren, dem Kambium genäherten Partien hauptsächlich aus:

Holzfasern; typsiche, sehr lange, schmale Fasern mit relativ starker Verdickung. Poren in Flächenansicht: schräggestellte Porenspalten, zuweilen kombiniert mit kleinen kreisförmigen Tüpfeln.

Tracheiden: in der Verdickung im allgemeinen mit den Gefäßen übereinstimmende faserähnliche oder mehr gestreckte Zellen mit geschlossenen Poren (größerer Porus der Quer-, seltener der Längswände oder zahlreiche kleinere Poren).

Weiter innen finden sich:

Gefäße. Hier sind zu unterscheiden: Durch vollständig resorbierte Querwände gekennzeichnete Röhren mit spiraliger und treppenartiger Wandverdickung. Gefäße mit unvollständig resorbierten Querwänden, jede derartige Wand mit einem ziemlich großen Porus, sind häufiger. Ein in der Regel ähnlicher Porus der Längswand stellt dann die Verbindung mit Nachbargefäßen her.

Es erübrigt sich, noch kurz auf die Anatomie tieferliegender Sproßpartien einzugehen und speziell die durch den sekundären Zuwachs bedingten Veränderungen an überlebenden Sproßbasen näher zu betrachten. Es ist auf die aus dem Wurzelkopf herausragenden verholzten, kurzen und wieder verzweigten Sproß- oder Stengelreste bereits früher hingewiesen worden (p. 29. Abb. 4).

Nach dem Verblühen tritt bei den Sprossen hauptsächlich an ihrem Grunde an Stelle der Epidermis der Kork. Zunächst sind es zusammenhangslose Partien, die von der Korkbildung ergriffen werden, nach und nach fällt ihr aber die gesamte Oberfläche des Stengels zum Opfer.

Anfangs tritt er nur in wenigen Reihen auf und ist noch von der Epidermis überzogen, bald aber, wenn die Epidermis gesprengt ist, als mehrreihige Schicht. Die Korkbildung setzt stets in der subepidermalen Zellreihe ein, nie in der Epidermis selbst. Die Korkbildung ist die übliche, Phelloderm wird nicht erzeugt. Abgestorbene, äußere Partien des Korkes werden abgestoßen.

Der Holzkörper hat sich auf Kosten des Markes erweitert entsprechend der vom einjährigen Sproß zum dauernden Stamm erfolgenden Umwandlung. In dem Holzkörper erkennt man hier deutlich Jahresringe.

Die dem Kambium zunächstliegende Partie zeigt eine eigentümliche Gestaltung. Während sonst nach innen überall gleichartiges, sofort verholzendes Gewebe abgelagert wird, sehen wir hier in mehr oder weniger regelmäßigen Abständen unverholzte Parenchyminseln in das Holzgewebe eingestreut. Diese dürften der Zeit des stärksten Zuwachses entsprechen und stellen gleichsam eine Vermehrung des Speichergewebes dar.

Damit nicht von der Stelle aus, wo die verblühten Sprosse absterben, die durch die zentrale Markhöhle um sich greifende Fäulnis der Pflanze Schaden bringe, werden besondere Schutzeinrichtungen getroffen.

An der für das Absterben vorbestimmten Partie, in der Regel 1—2 *mm* über dem Wurzelkopf, bei den fortbestehenden Sproßresten dementsprechend höher, tritt im Mark eine durch-

gehende Verholzung der Zellen ein, verbunden mit einer reichlichen Ansammlung öliger Tropfen im Innern sämtlicher Zellen.

Nach Abschluß der Vegetationsperiode sind auch die Gefäße durch eine gelbe, harzige Masse verstopft; damit ist die letzte Verbindung zwischen Wurzel und Sproß unterbrochen.

Der nach dem Verblühen vollständig vertrocknende Sproß stirbt bis zu der oben erwähnten, mit Harz erfüllten Partie im Laufe des Winters ab. Bisweilen können auch kleinere oder größere Teile noch längere Zeit am Wurzelkopf hängen bleiben.

Ähnliche Verhältnisse hat Osterwalder[1]) an Enzianwurzeln gefunden, mit dem Unterschied, daß dort ein eigentlicher Wundkork zu konstatieren war, was hier nicht der Fall ist.

Auf die Beimengung von Stengeln der Senegapflanze zur Droge wurde von Tunmann[2]) hingewiesen und betont, daß sie deswegen von Bedeutung sei, weil die Stengelteile nur Spuren von Saponin enthalten, eine reichlichere Beimengung derselben die Wirksamkeit der Droge demnach stark herabsetzt. In dem von Tunmann berichteten Falle enthielt die Probe reichlich 20 % dieser Stengelreste.

Als Anhangsorgane des Stengels seien hier noch die Niederblättchen besprochen (vgl. Tunmann).

Die am Wurzelkopfe gewöhnlich in größerer Anzahl vorkommenden Niederblättchen sind, wie bereits früher erwähnt, rötlich violett, von Gestalt herz- bis eiförmig, ungefähr 2,5—3 *mm* lang und fast ebenso breit, mit breiter Basis den Stengelresten angewachsen, am Rande zart bewimpert. Jedes Niederblättchen besitzt ein einziges, in der Mitte verlaufendes und von dort aus sich verzweigendes Gefäßbündel. Das Mesophyll setzt sich aus 3—5 Lagen eines lockeren Parenchyms zusammen.

Die Epidermis besteht an der Oberseite, das ist an der dem Stengel zugewendeten Fläche, aus rundlich polygonalen oder nur schwach gewellten Zellen; am Grunde und über den Nerven sind die Zellen gestreckt. Unterseits greifen die Wände der Epidermiszellen ausgesprochen wellig-buchtig ineinander. Spalt-

[1]) Osterwalder, Beitrag zur Kenntnis pharmazeutisch wichtiger Gentianawurzeln, Diss. Basel, 1919, p. 33.

[2]) Tunmann, Über eine Beimengung der Senegawurzel, Pharm. Zentralh. 1908, p. 63.

öffnungen sind auf der Unterseite vorhanden. Sie sind kreisförmig und werden von 3—5 Nebenzellen begrenzt. Die Cuticula zeigt auf beiden Blattseiten Längsfalten.

Haare finden sich entlang des ganzen Blattrandes; an der Spitze des Niederblättchens ist fast jede Epidermiszelle zu einem Haare ausgewachsen (Abb. 22).

Die Haare sind größtenteils 70—120 *mikr.* lange und 10 bis 15 *mikr.* breite Schlauchhaare. Sie sind dünnwandig, am oberen Ende oft hakenförmig umgebogen und mit zahlreichen Cuticularwärzchen bedeckt. An der Spitze ist die Wand oft auf eine ganz beträchtliche Strecke verdickt, wie gequollen, mitunter geschichtet und gelblich gefärbt. An einzelnen Haaren ist die Cuticula blasig abgehoben.

Abb. 22. Vergr. ca. 210/1. Blattrand eines Niederblättchens.

Die geschichtete Verdickung am oberen Ende der Haare zeigt Zellulosereaktion. Sie dürfte in analoger Weise entstanden sein, wie die, welche wir bei den meist Gummiharz absondernden Colleteren oder Drüsenzotten der Laubknospen aber auch an zahlreichen anderen sezernierenden Trichomen beobachten[1]). Die unter der Cuticula liegende Membranpartie, die sogenannte Collagenschicht, wird in Gummischleim übergeführt und dadurch das blasige Abheben der Cutikula bewirkt.

In gepulverter Senegawurzel sind Verunreinigungen durch Stengelreste sehr leicht festzustellen durch die Gegenwart von weißen, stark lichtbrechenden, unverholzten Bastfasern, während bloß Schlauchhaare, wenn keine Bastfasern zugegen sind, nur einen Schluß auf die Anwesenheit von Knospen zulassen.

[1]) Tschirch, Angewandte Pflanzenanatomie p. 210.

Blatt.

Die wechselständigen, lanzettlich bis oblongen, zugespitzten, am Rande feingezähnelten Blätter sind sitzend, am Grunde keilförmig, oberseits sattgrün, unterseits etwas blasser. Die oberen Blätter sind breiter und länger und entwickeln sich nach dem Verblühen sämtlich stärker. Die Blattspreite wird bis 80 *mm* lang und 30 *mm* breit. Diese Maße waren bei den in der Schweiz gewachsenen wie bei den aus Amerika erhaltenen Pflanzen übereinstimmend. Es liegt darin ein Hauptunterschied gegenüber den Angaben Chodats, der als Maße der Blätter für var. latifolia 35 : 12 und 40 : 13 *mm* angibt.

Abb. 23. Nat. Größe. Blatt von Polygala Senega.

Der Hauptnerv durchzieht das Blatt bis zur Spitze und teilt es in gleichgroße Hälften. Die unter spitzem Winkel vom Hauptnerv abzweigenden Sekundärnerven anastomosieren nahe dem Blattrande. Nerven höherer Ordnung bilden ein reich verzweigtes Netz (Abb. 23).

Von der Fläche gesehen, sind die beiden Blattseiten dadurch mikroskopisch unterschieden, daß Spaltöffnungen nur unterseits vorkommen und die Ausbuchtungen der oberen Epidermiszellen weniger beträchtlich sind. Bemerkenswert, jedoch durchaus nicht außergewöhnlich erscheint es, daß die wellenförmige Begrenzung der Epidermiszellen auf die von den Nerven umschriebenen Blattpartien beschränkt ist und über den Nerven fehlt.

Besondere Beachtung verdient der eigenartig gestaltete Blattrand. In 2—3 Reihen liegen die kleinen Blattzähne kulissen-

artig hintereinander. Jeder der Gewebehöcker trägt in seiner Spitze eingesenkt ein Haar (Abb. 26).

Abb. 24. Vergr. ca. 248/1. Blattoberseite.

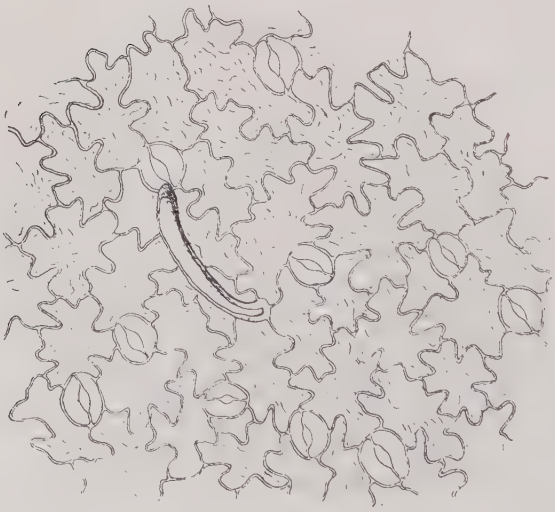

Abb. 25 ca. 250/1. Blattunterseite.

Haare finden sich auch auf beiden Blattseiten. Sie sind einzellig, von einer körnigen Cuticula überzogen, gegen die Spitze zu keulenförmig angeschwollen und hakenförmig gekrümmt.

Der in die Epidermis eingesenkte Basalteil ist etwas angeschwollen und dicht an der Blattfläche etwas eingeschnürt, so daß er als zwiebelförmig bezeichnet werden kann.

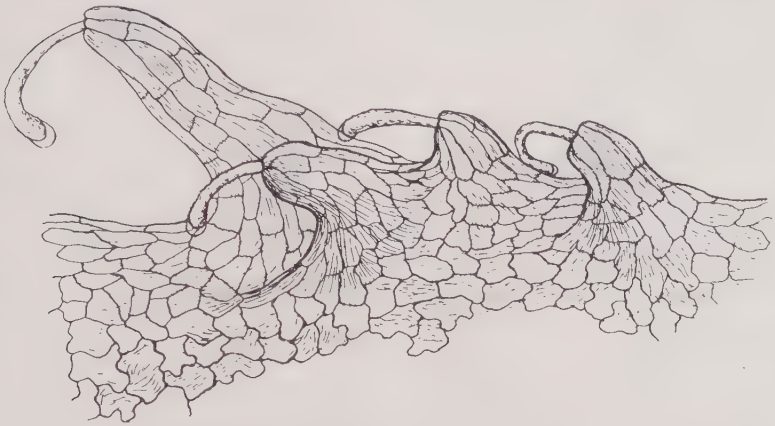

Abb. 26. Vergrößerung ca. 132/I. Blattrand.

Die Verdickung in der oberen Partie ist weniger beträchtlich als bei den früher geschilderten Haaren der Niederblättchen. In der Mehrzahl der Fälle ist die Spitze abgebrochen oder die ursprünglich blasig abgehobene Cuticula zusammengeschrumpft.

Querschnitt durch die Blattlamina (Abb. 27).

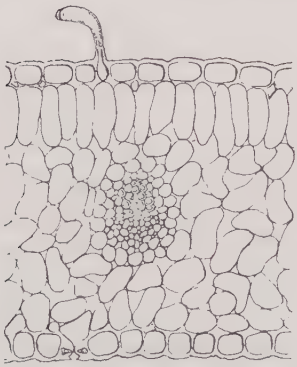

Abb. 27. Vergr. ca. 300/1. Querschnitt durch die Blattlamina.

Die Zellen der oberen Epidermis sind tangential etwas mehr gestreckt als diejenigen der Unterseite. Beide Epidermen haben stark verdickte Außenwände und sind von einer gestreiften Cuticula überzogen. Die Spaltöffnungen, die 30 *mikr.* lang und 20 *mikr.* breit sind, liegen etwas über dem Niveau der Epidermis oder auf gleicher Höhe und besitzen eine relativ mächtige Atemhöhle.

Die oberste Zellreihe des Mesophylls ist als Palisadenschicht entwickelt, die aber über dem Hauptnerv und seiner nächsten

Umgebung die typische Ausdehnung ihrer Zellen nicht erkennen läßt. Das daruntergelegene Schwammgewebe zeigt keine besondere Differenzierung. Nur um die kleinen Gefäßbündel zeichnet sich ein Ring eng aneinanderschließender Parenchymzellen besonders ab.

Der Mittelnerv zeigt sowohl an seiner Basis wie auch an der Spitze des Blattes gleiche Verhältnisse (Abb. 28).

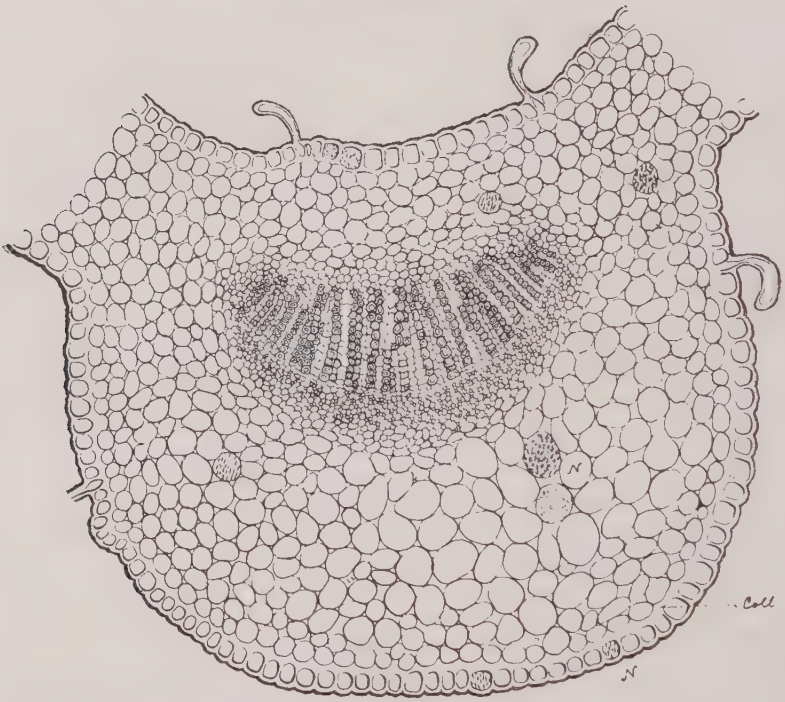

Abb. 28. Vergr. ca. 87/1. Querschnitt durch den Hauptnerv an der Blattbasis. Coll. = Collenchym. N = Netzförmig verdickte Zellen der Epidermis und des Nervenparenchyms.

Er tritt unterseits stark halbkreisförmig hervor, während er auf der Oberseite das Niveau der Lamina nicht überragt.

Im Nervenparenchym, der Oberseite genähert, liegt das sichelförmige Nervenbündel.

Seine Holzstrahlen sind in radialen Reihen angeordnet, führen 8—13 Gefäße und sind durch einreihige Markstrahlen getrennt. Das Hauptbündel umgibt ein Kranz kleiner Zellen,

die allmählich in die größeren Formen des Nervenparenchyms übergehen. Sowohl die Wandungen der über dem Hauptnerv gelegenen Epidermiszellen als auch die des Nervenparenchyms weisen netzartige Zelluloseverdickungen auf. Die unter der Epidermis der Unterseite gelegene Zellschicht ist kollenchymatisch verstärkt. Oxalate sind keine vorhanden. Dagegen konnte Stärke nachgewiesen werden. Darin, daß Stärke vorhanden ist, würde nichts Besonderes liegen, wenn wir nicht durch eine kürzlich in Genf erschienene Arbeit[1]) darauf aufmerksam gemacht worden wären, daß in den assimilierenden Geweben der Polygalaceen nur selten Stärke in größerer Menge konstatiert worden sei. Dadurch sahen wir uns veranlaßt, die Sache näher zu untersuchen. Es zeigte sich auch tatsächlich bei der Nachprüfung von Herbarmaterial eine Bestätigung dieses Befundes.

Zur Kontrolle wurde dann an Blättern lebender Pflanzen der Sachssche Stärkenachweis ausgeführt. Derselbe fiel positiv aus. Damit ist das Vorhandensein von Stärke nach unmittelbar vorausgegangener Sonnenbestrahlung erwiesen; Stärkekörner konnten auch mikroskopisch einwandfrei als Einschlüsse der Chlorophyllkörner festgestellt werden.

Blüte.

Entwicklungsgeschichte.

Der Sproß endet in einer vielblütigen, oben von Deckblättern schopfig überragten, zylindrischen, bis 8 *cm* langen Blütentraube (Abb. 29). Nur die unteren, in der Achsel hinfälliger, linealer Blütendeckblätter stehenden Blüten sind fertil, während die im Schopf angelegten Blüten dauernd von den Deckblättern umschlossen bleiben und nicht zum Blühen gelangen.

Die schon seit mehreren Jahren in Zofingen im Freien kultivierten Senegapflanzen blühen von Ende Mai bis im Herbst. Die von uns im Gewächshaus des Botanischen Gartens in Basel gezogenen Exemplare blüten bereits Mitte April. Die ersten sichtbaren Blütenanlagen fand ich im Monat März. Die in akropetaler Reihenfolge sich allmählich entwickelnden Blüten

[1]) Teding van Berkhout, Etude d'une Substance sucrée du Polygala amara p. 10.

der dichtgedrängten Blütenähre gestatten beinahe gleichzeitig die Blüten in ihren verschiedenen Entwicklungsstadien zu beobachten.

Die Resultate meiner Untersuchungen stimmen überein mit den von Payer und Chodat gemachten Beobachtungen an Blüten von Polygala speciosa und Polygala floribunda Benth.[1]).

1. Stadium. In der Achsel einer Braktee, die von zwei sekundären Brakteen begleitet wird, erscheint die erste Blütenanlage als kleine Protuberanz. Aus dieser halbkugeligen Blüten-

Abb. 29. Nat. Größe. Blütentraube von Polygala Senega.

achse beginnen sich auf drei Seiten kleine, rundliche Höckerchen emporzuwölben, die sich allmählich zu den drei äußeren, rundlichen Kelchblättchen entwickeln.

2. Stadium. Während die drei äußeren Kelchblättchen sich an der Basis verbreitern, die Blütenprotuberanz bauchförmig umhüllen und sich über den Vegetationspunkt emporwölben, erscheinen in der Vertiefung zwischen den drei Kelchblattanlagen und dem inneren Blütenkegel zwei kleine rundliche Wülste, welche die zwei inneren Kelchblattanlagen bilden.

[1]) Payer, Organogénie de la Fleur p. 139.
Chodat, Monogr. Polyg. p. 56.

Wir sehen somit, daß die drei äußeren Kelchblätter der Blüte schon die ersten Entwicklungsstadien durchlaufen haben, wenn die zwei inneren Kelchblätter erst als kleine Protuberanzen emporwachsen.

3. Stadium. Im Schutze dieser Kelchblätter schreitet die Entwicklung der Blüte weiter. Die beiden inneren Kelchblattanlagen bleiben noch einige Zeit sehr klein; allmählich verbreitern sie sich am Grunde und nehmen die Gestalt eines oben abgerundeten Dreiecks an.

An der Zentralprotuberanz entspringen nun gleichzeitig fünf kleine Höckerchen, die mit den Kelchblättern alternieren. Jeder dieser Höcker bildet die Anlage eines Blumenblattes. Diese fünf gleichzeitig entstandenen Blumenblattanlagen entwickeln sich jedoch nicht gleichmäßig. Das untere, mediane, wächst sehr rasch in die Höhe, so daß es die übrigen kurz nach ihrer Entstehung überragt. Schon gleich nach der Anlage wird es durch ungleichseitiges Wachstum konkav und entwickelt sich zu dem in der fertig ausgebildeten Blüte als „Carina" bezeichneten Kronblatt. Auf seinem Rücken bildet sich eine wulstförmige Erhebung, die sich durch wiederholte Teilung zu dem als „Crista" bezeichneten Anhängsel differenziert. Die beiden seitlichen Primordien der Blumenblätter bleiben in ihrer Entwicklung stark zurück und sind bei der ausgewachsenen Blüte nur noch als kleine, der Staminalröhre auf beiden Seiten angewachsene Schüppchen zu erkennen.

4. Stadium. Kurze Zeit nach dem Erscheinen der Petalen kommen die Anlagen der 8 Staubgefäße zum Vorschein. Ich hatte nicht das Glück, die durch ein kurzes Intervall getrennte Entstehung der beiden Staminalkreise zu beobachten. Immerhin ließ sich eine Ungleichheit in der Ausbildung erkennen, indem die 4 inneren Staubgefäßanlagen größer waren als die 4 äußeren.

5. Stadium. In der Folgezeit schreiten alle Blütenkreise in ihrer Ausbildung weiter vor. Der Gesamtblütendurchmesser wird größer, die Kelchblätter des äußeren und inneren Kreises schieben sich an der Blütenspitze dachziegelförmig ineinander und schützen die inneren Organe.

Zunächst sind es die Staubblätter, die eine weitere Differenzierung erfahren haben, indem sie allmählich in die Länge

wachsen. Jede einzelne Anthere nimmt länglich-ellipsoide Gestalt an. Erst bedeutend später werden die Antheren durch kurze Filamente in die Höhe gehoben.

In der terminalen abgeflachten Region der Blütenanlage setzt nun auch die Bildung des oberständigen Stengels ein. Zunächst differenzieren sich zwei kleine stumpf kegelförmige Höckerchen; es sind die Spitzen der Karpiden, die später durch basales Wachstum zum Griffel heranwachsen. Am Grunde verbreitern sich die Karpiden, bilden halbkreisförmige Ringwälle und verwachsen mit ihren Rändern. Gleichzeitig wölbt sich aus der von den beiden Karpellen umschlossenen krugförmigen Vertiefung die zentrale, kugelförmige Protuberanz hervor. Indem sich diese zentrale Erhebung am Grunde verbreitert, verwächst sie mit den Karpiden; auf diese Weise werden zwei kleine Hohlräume gebildet, die beiden Fruchtfächer. Zu beiden Seiten dieses sich zur Fruchtknotenscheidewand entwickelnden Gewebekörpers wölbt sich nun in jedes Fruchtfach eine halbkugelige Protuberanz hervor, die ersten Anfänge der Samenanlagen.

Der von den beiden Fruchtblättern umschlossene Hohlraum wird nun beinahe vollständig ausgefüllt durch die Plazenta und die seitlich sich hervorwölbenden Samenanlagen. Nach oben ist der junge Fruchtknoten noch offen, da sich die oberen Ränder der Karpelle noch nicht vereinigt haben und die Plazenta noch nicht mit ihnen verschmolzen ist.

Erst später verwachsen auch in der oberen Partie die inneren Ränder der Karpelle, deren Spitzen etwas nach auswärts gerichtet sind; zugleich findet die etwas in die Höhe gewachsene Plazenta Anschluß an die obere Seite des Fruchtknotens, und damit verschwindet die Öffnung.

Die bis jetzt gleichgestalteten Karpelle beginnen sich nach kurzem Längenwachstum verschiedenartig auszubilden. Aus ihren Spitzen entsteht die recht kompliziert gestaltete Narbe. Sie wird nach vollendetem Wachstum von einem kurzen, stielrunden Stempel getragen und stellt einen Gewebekörper dar, der nach hinten umgebogen und abgerundet erscheint, während er nach vorn und unten zu einem trogförmigen Gebilde auswächst, das an seinem Scheitel einen pinselförmigen Anhängsel trägt.

Die hermaphroditen, zygomorphen Blüten haben 5 korollinische Kelchblätter, die zwei inneren sehr groß, fast kreisrund, flügelartig, als alae ausgebildet, gelblichweiß, mit verzweigten, grünlichen Adern durchzogen, die drei viel kleineren äußeren oblong und stumpf.

Von den 5 Kronblättern sind die zwei oberen fehlgeschlagen, die zwei mittleren schief oblong, lanzettlich, kaum die Flügel überragend, das unterste helmartig ausgebildet, als Kiel (carina) entwickelt, der am oberen Rande zwei häutige Lappen und einen Kamm von 5—6 keulenförmigen, etwas papillösen Zipfeln trägt (crista). Von dem Kiel dachförmig überwölbt werden die monadelphischen Staubfäden, die an der Basis zu einem breiten Bande verwachsen und nur in ihrer oberen Hälfte frei sind. Sie tragen röhren- oder topfförmige Staubbeutel, die sich durch einen Riß quer über den Scheitel öffnen. Sie ragen in die kahnförmige Vertiefung der Narbe hinein.

Die Frucht besteht aus einer fast nierenförmig bis rundlichen, nur von der flachen Seite mäßig zusammengedrückten Kapsel. Diese ist etwas länger als die beiden bleibenden, ihr angedrückten Kelchblätter, am Grunde und an der Spitze etwas ausgerandet. Auf jeder der beiden Seiten laufen von der Spitze nach dem Grunde drei bis mehr verzweigte Gefäßstränge. Die Kapsel öffnet sich durch einen längs der schmalen Seite gehenden Riß.

Eine ziemlich dünne Scheidewand teilt die Frucht in zwei längliche, einsamige Fächer. Die beiden Samen stehen durch einen kurzen, kegelförmigen Funikulus mit der Plazenta in Verbindung.

Same.

Entwicklungsgeschichte.

Legt man durch die Samenknospe einen Längsschnitt, so erscheinen in diesem die Zellen beider Integumente nur wenig voneinander verschieden. Sie bestehen beide aus zwei Zellagen, an die sich nach innen das Gewebe des Nucellus anschließt. In einer weiter entwickelten Anlage (Abb. 30) finden sich wesentliche Veränderungen.

Das äußere Integument hat sich durch Streckung und Teilung besonders an seinem oberen Ende über das innere Integument vorgewölbt.

Das äußere Integument unterscheidet sich vom inneren dadurch, daß seine Zellen eine geringe radiale Streckung erfahren haben. Die zwei Zellagen des inneren Integumentes heben sich deutlich von den bedeutend größeren Zellen des Nucellus ab. Etwas später tritt diese Trennungslinie zwischen innerem Integument und Nucellus noch besser hervor durch Verdickung der äußeren Nucellarschicht. Das gleiche vollzieht sich mit der Außenwandung des äußeren Integumentes.

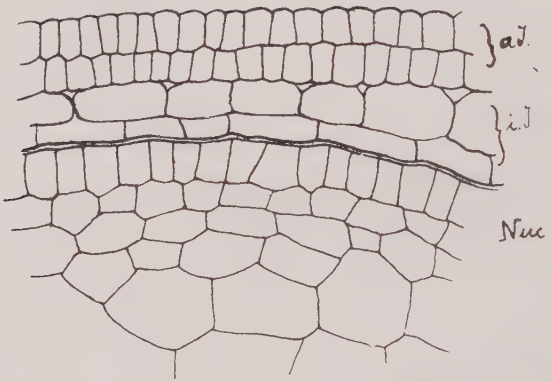

Abb. 30. Vergr. ca. 300/1. Entwicklung der Samenschale I.
aJ = Äußeres Integument, iJ = Inneres Integument, Nuc = Nucellus.

Unterdessen nehmen sämtliche Zellen an Umfang zu. Wir erkennen deutlich die radiale Anordnung der zweiten Zellschicht des äußeren und eine tangentiale des inneren Integumentes. Es lokalisiert sich dieses Wachstum einerseits auf die innere Lage des äußeren Integumentes, dessen Zellen schließlich eine Palisadenschicht darstellen, anderseits auf die äußere Schicht des zweiten Integumentes, die mehr und mehr den Zusammenhang mit den darüberliegenden Palisadenzellen verliert, um sich zuletzt völlig davon loszulösen.

Hat die Samenschale eine gewisse Entwicklung erreicht, so tritt im inneren Drittel jeder Palisadenzelle eine Ausscheidung von Kalkoxalat in Form eines Einzelkristalles auf (Abb. 31).

Mit der Bildung der Kristalle und einer weiteren Streckung der Zellen tritt eine in der inneren Zellpartie beginnende Verdickung der Membran ein, die sich allmählich über die ganze

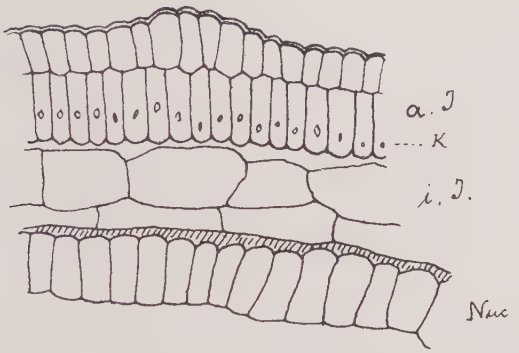

Abb. 31. Vergr. ca. 300/1. Entwicklung der Samenschale II. a J = Äußeres Integument, i J = Inneres Integument, N u c = Nucellus. K = Kristall v. Kalkoxolat.

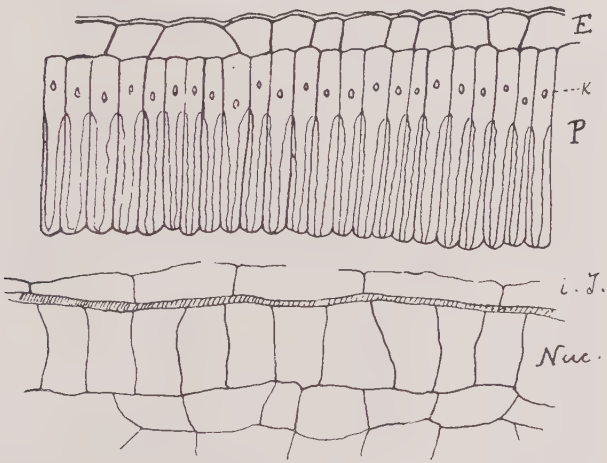

Abb. 32. Vergr. ca. 300/1. Entwicklung der Samenschale III. E = Epidermis, P = Palisadenzellen, K = Kristall, i J = Reste des inneren Integumentes, N u c = Nucellus.

Zelle erstreckt (Abb. 32). In der fertig ausgebildeten Zelle liegt der Kristall alsdann im oberen Drittel.

Das innere Integument verschwindet zum größten Teil; spärliche Reste desselben sind noch zu finden an der inneren Seite

der Testa und etwas reichlicher in der Gegend der Chalaza und der Mikropyle.

Mithin besteht die eigentliche Samenschale von Polygala Senega zur Zeit der Reife nur aus den beiden Zellagen des äußeren Integumentes; von dem inneren Integument haften der Samenschale nur noch spärliche Reste an.

Im Verlauf der Entwicklung sind wir mit den die Testa des reifen Samens formierenden Elementen so genau bekannt geworden, daß ich zu deren definitiven Charakterisierung nur mehr weniges beizufügen habe.

Zwischen der Epidermis und der Palisadenschicht hat sich (wie allgemein) an der Spitze des Samens und von hier der Raphe

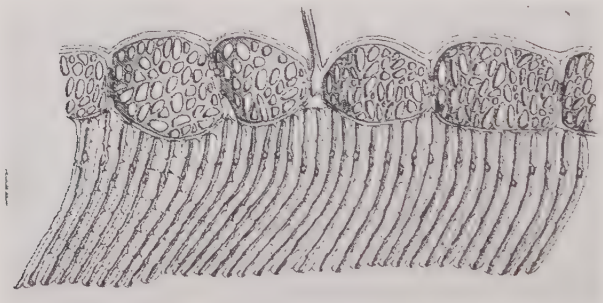

Abb. 33. Vergr. ca. 250/1. **Längsschnitt durch die Samenschale.**

entlang bis zur Chalaza hin ein mehr oder weniger starkes Parenchymgewebe gebildet. Näher brauche ich nicht hierauf einzugehen, Kolle[1]) hat sich näher mit diesen Verhältnissen bei den Samen offizineller Pflanzen beschäftigt, wenn auch nicht bei Polygala.

Charakteristisch für die Epidermiszellen ist die netzartige Verdickung und Porosität der Wandungen (Abb. 33).

Die Haare, die in größerer Anzahl in der Gegend der Mikropyle und der Chalaza auftreten, sind einzellig: sie besitzen ziemlich stark verdickte Wandungen.

[1]) Kolle, Untersuchungen über den Bau der Samenschale an Hilum und Chalaza bei einigen offizinellen Pflanzen. Diss. Bern 1918.

Die Palisadenzellen erfahren in der Mitte eine eigentümliche Abbiegung gegen die Chalaza zu. Daraus erklärt sich auch die Tatsache, daß man auf Querschnitten an der Innenseite der Palisadenschicht immer Flächenbilder der Palisadenzellen trifft.

Die Chalaza ist charakterisiert durch die Verzweigung des Raphenbündels, dessen feine Endigungen sich in dem hier auftretenden mehrschichtigen Parenchymgewebe verlieren. Die Epidermiszellen sind hier stärker kutinisiert.

Der Arillus von Polygala Senega ist ein falscher Arillus. Tatsächlich ist er hervorgegangen aus einer Erweiterung des äußeren Integumentes und ist vom Funikulus unabhängig.

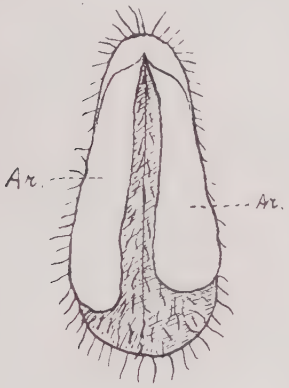

Abb. 34. Vergr. ca. 10/1. Same von der Raphenseite. Ar = Die beiden Schenkel des Arillus.

In seiner Entwicklung sind zwei Stadien hervorzuheben: das erste besteht in der Differenzierung des Parenchyms, das zwischen Epidermis und Palisadenschicht der Samenschale eingelagert ist; das zweite umfaßt seine äußere Gestaltung, von der Form einer einfachen Kapuze bis zur definitiven Ausbildung zum zweischenkligen Samenmantel (Abb. 34).

Ein Längsschnitt durch die Mikropylengegend zeigt diese Verhältnisse (Abb. 35). Wir haben von außen nach innen fortschreitend:

1. die Epidermis, als Verlängerung der Epidermis derSamenschale; sie ist stark kutinisiert und vielfach zu einzelligen Haren ausgezogen;
2. das Parenchym des Arillus, das ebenso wie das Raphenparenchym durch tangentiale Teilungen der inneren Schicht des äußeren Integumentes entstanden ist;
3. die Palisadenschicht, die, von beiden Seiten des Samens kommend, sich hier unter spitzem Winkel vereinigt; der Raum dazwischen wird häufig noch ausgefüllt durch ein Gewebe, das nur dem zweiten Integument angehören kann.

Der Mikropylenkanal durchbricht den Arillus und die Samenschale. Nach innen zu erweitert er sich trichterförmig.

Die Einknickungen im Palisadengewebe im oberen Teil der Samenschale (s. Abb. 35K) lassen sich durch den späteren Austritt der Wurzel des Embryos erklären.

Embryo und Endosperm.

Bei der Entwicklung des Embryos und des Endosperms wird das Nucellargewebe reduziert, so daß wir in vorgerückten Stadien vom Nucellus nur noch die kutinisierte Außenwand vorfinden, die bestehen bleibt und als eine Art Sack das Endosperm umgibt. Einzig in der Gegend der Chalaza sind noch einige Zellschichten des Nucellus erhalten geblieben.

Es lag nicht im Rahmen meiner Aufgabe, eingehend die Entwicklung des Embryo zu studieren.

Beim reifen Samen ist der Embryo allseitig vom Endosperm umgeben, wobei das Würzelchen gegen die Mikropyle, die Kotyledonen gegen die Chalaza gerichtet sind. Die zartwandigen Zellen des Embryo sind prall gefüllt mit Eiweißsubstanz.

Ein Querschnitt durch das Würzelchen zeigt uns, daß die der Leitung dienenden Gewebe noch nicht ausgebildet sind. Den Mittelpunkt des Würzelchens nimmt ein axial verlaufender Prokambiumstrang ein. Die nach außen anschließenden Rindenzellen sind

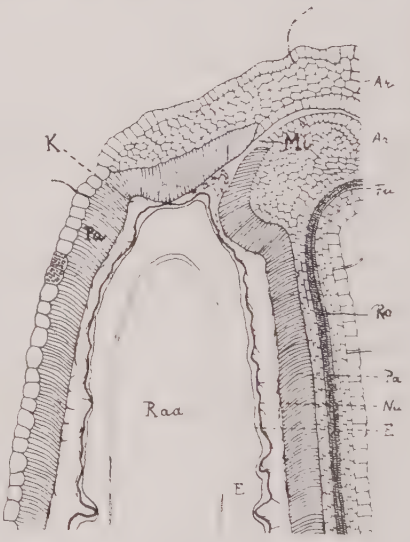

Abb. 35. Vergr. ca 40/1. Längsschnitt durch die Mikropylargegend des Samens. Mi = Mikropyle, Ar = Ansatzstelle des Arillus, Fu = Funikulusansatz, Ra = Raphenbündel, Pa = Palisadenschicht, Nu = Nucellusrest, E = Endosperm., Rad = Radicula, K = Einknickungen in der Palisadenschicht.

in radialen Reihen übereinander gelagert und nehmen an Größe von innen nach außen zu.

Perizykel und Endodermis sind noch nicht differenziert.

Ein Querschnitt durch einen Kotyled läßt uns die Anlage der Nervatur erkennen, die sich erst als prokambiales Gewebe ohne Differenzierung in Gefäße und Bast vom übrigen Parenchym unterscheidet. Das Parenchym des Keimblattes wird gebildet aus isodiametrischen, dünnwandigen Zellen. In seiner Anordnung stimmt es ziemlich mit dem Rindengewebe des Würzelchens überein, d. h. seine Zellen sind in radialen Reihen angeordnet, die von Zeit zu Zeit durch das Prokambium der Blattnerven unterbrochen werden.

Auf Längsschnitten durch das unausgekeimte Würzelchen haben wir festgestellt, daß Dermatogen und Wurzelhaube gemeinsame, Plerom und Periblem dagegen besondere Initialen besaßen.

Von der Plumula, die als kleiner Höcker zwischen den beiden Kotyledonen eingeschlossen ist, läßt sich wenig sagen; sie erscheint als ein jugendliches Gewebe, das keine weitere Differenzierung erkennen läßt.

Schlußbetrachtungen.

In der Literatur werden als Stammpflanzen für die Senegawurzel Polygala Senega L. und Polygala Senega L. var. latifolia angegeben. Obige entwicklungsgeschichtliche Studien haben gezeigt, daß die bei uns kultivierte Polygala Senega L. var. latifolia subspec. dentata keinen anormalen Bau der Wurzel aufweist. Sämtliche bisherigen Forscher nahmen aber den anormalen Bau der Senegawurzel für beide Stammpflanzen an. Es ist also die Frage zu erörtern, warum Polygala Senega L. var. latifolia bei uns in Kultur keinen anormalen Bau zeigt, wenn diese Pflanze in Amerika in der Tat einen solchen aufweisen sollte, was uns sehr fraglich zu sein scheint.

Wie auf Seite 20 mitgeteilt worden ist, haben die früheren Untersuchungen von Linde und Meyer sich ausschließlich mit der Frage der Bildung und Deutung des anormalen Wurzelbaues bei Senega befaßt, ohne auf die einzelnen Stammpflanzen Rücksicht zu nehmen. Das Fehlen eines solchen anormalen Baues bei der von uns kultivierten, als eine der Stammpflanzen der

offizinellen Senegawurzel bezeichneten Polygala Senega L. var. latifolia schließt es nicht direkt aus, daß diese Varietät in Amerika einen anormalen Bau aufweisen kann.

Sowohl die von uns gezogenen als auch die aus den Kulturen in Zofingen stammenden Pflanzen, beide gleicher Provenienz, ließen sich mit Sicherheit als Polygala Senega L. var. latifolia subspec. dentata bestimmen. Als wertvolle Bestätigung dieser Feststellung dient der Umstand, daß die „Schweizerpflanzen" vollkommen mit dem aus Amerika erhaltenen Vergleichsmaterial übereinstimmen, sowohl in systematischer als auch in anatomischer Hinsicht.

Was uns bei den Mitteilungen über Senegawurzel auffällt, ist die Tatsache, daß in den meisten Fällen nur den Wurzeln mit anormalem Bau besondere Aufmerksamkeit geschenkt wird, obschon Handelssorten anzutreffen sind, bei denen man suchen muß, um anormale Wurzeln aufzufinden. Die normalen Wurzelstücke wurden weniger berücksichtigt und es wurde niemals die Möglichkeit ins Auge gefaßt, daß ev. die normalen Wurzelstücke mit einer besonderen Stammpflanze in Beziehung zu bringen wären.

Im Gegensatz zu den Wurzeln amerikanischer Provenienz, wie sie in der Droge vorliegen, wo anormale anatomische Verhältnisse immerhin sehr häufig zu konstatieren sind, konnte bei den in der Schweiz gewachsenen nirgends die Anlage zu Unregelmäßigkeiten wahrgenommen werden. Das gleiche ist aber auch der Fall bei den Wurzeln der aus Indiana erhaltenen Pflanzen; auch hier nur normales Wachstum; allerdings stand von letzteren nur eine beschränkte Anzahl (ca. 10 Stück) der Untersuchung zur Verfügung.

Zur völligen Lösung der Frage, warum an den in der Schweiz gewachsenen Exemplaren die anormale Struktur nicht zu finden ist, müßte zunächst an Hand eines reichlichen, botanisch sicher bestimmten Untersuchungsmaterials, das aus den einzelnen Provenienzgebieten aus den Vereinigten Staaten stammt, festgestellt werden, ob auch dort die Wurzeln von Polygala Senega L. var. latifolia subspec. dentata stets ein normales Wachstum aufweisen. Erst daraus könnte man schließen, daß bei dieser

Varietät sich überhaupt kein anormaler Bau des Holzkörpers einstellt, oder ob dies nicht der Fall ist.

Nur dann, wenn diese Vorfrage entschieden ist, lassen sich weitere Vermutungen über die Gründe aussprechen, welche den für Senega bisher als allgemein angenommenen eigenartigen Bau veranlassen.

O. Linde hat „südliche" Senegawurzel, für die, wie er sagt, nach den Angaben von J. U. und C. H. Lloyd eine breitblättrige Abart der Polygala Senega in Betracht komme, eingehend untersucht und ist zu dem Resultat gekommen, daß mit Ausnahme einer schwächeren Korkschicht, keine Unterschiede in der anatomischen Struktur gegenüber anderen Senegawurzeln bestehen, daß somit Kiel und Keil vorhanden sind. Linde wurde zu dieser Untersuchung veranlaßt, weil geäußert worden war, daß eine breitblättrige Form der Polygala Senega ein Fehlen des Kiels erkennen lasse und einen kreisrunden Holzkörper zeige. Nun können wir allerdings nicht bestimmt sagen, ob die von Linde untersuchten Wurzeln von derselben Stammpflanze stammen, wie die aus Amerika erhaltenen und die in der Schweiz gewachsenen, ob es sich also bei Linde überhaupt um Polygala Senega L. var. latifolia gehandelt habe.

Daß nämlich die Angaben über die Stammpflanze in botanischer Hinsicht selten so genau präzisiert sind, konnten wir selbst feststellen an Hand der aus Amerika erhaltenen Exemplare. Diese trugen lediglich die Bezeichnung Polygala Senega L. und wurden erst von uns auf Grund der in der Literatur genannten Unterscheidungsmerkmale als var. latifolia subspec. dentata identifiziert.

Es ergeben sich zwei Möglichkeiten, die mit dem anormalen Wachstum in Beziehung zu bringen wären. Entweder ist der anormale Bau die Eigenschaft einer bestimmten, uns zurzeit nicht bekannten Varietät, die unter allen Umständen auftritt, oder aber er ist eine physiologische Erscheinung, die bei den Wurzeln verschiedener Stammpflanzen je nach Wachstums- und Lebensbedingungen usw. zum Ausdruck kommen kann. Es ist die Möglichkeit nicht von der Hand zu weisen, daß die Wurzeln ein und derselben Stammpflanze unter verschiedenen Lebensbedingungen sich verschiedenartig gestalten können.

Dabei wäre also darauf zu achten, ob die in Kulturen gewachsenen Pflanzen anderer Polygala Senega-Formen dort, wo sie unter denkbar günstigen Bedingungen stehen, das bekannte anormale Wachstum der Wurzeln aufweisen, oder ob dies hier weniger oder gar nicht der Fall ist. Nach unseren Erfahrungen fällt diese Erwägung für Polygala Senega L. var. latifolia subspec. dentata dahin, da auch wildgewachsene Exemplare dieser Varietät sich gleich verhielten wie die in Kulturen gezogenen.

Auch der Unterschied in Klima und Boden, der in bezug auf die Ursprungslande unserer Pflanze zwischen Amerika und der Schweiz in Betracht kommt, scheint für die var. latifolia keine ausschlaggebende Rolle zu spielen, vorausgesetzt immer, daß wir die an den Wurzeln der in Amerika gewachsenen Pflanzen der Forma dentata gemachten Beobachtungen verallgemeinern können.

Auf jeden Fall ist anzunehmen, daß äußerlich nur sehr wenig verschiedene Varietäten von Polygala Senega der Gewinnung der Wurzel dienen. Auf diese botanischen Verschiedenheiten wird beim Einsammeln der Droge natürlich keine Rücksicht genommen. Nehmen wir nun an, daß die Wurzeln einer dieser Varietäten durch ihren normalen Bau ausgezeichnet sind, gegenüber anderen, die einen anormalen Bau aufweisen, so wäre auch der Umstand erklärlich, daß unter den Drogenmustern immer mehr oder weniger Stücke zu finden sind, die keine Anomalien besitzen.

In bezug auf Standorts- und Lebensbedingungen, die für die Entstehung der anormalen Struktur verantwortlich zu machen wären, sei auf eine andere, zwar nicht anatomische, bei Polygala amara gemachte Beobachtung hingewiesen. Nur die an bergigen, trockenen Standorten wachsenden Pflanzen besitzen einen intensiv bitteren Geschmack, während die auf sumpfigem Boden gewachsenen fast ganz geschmacklos sind.

Ferner sei hier nochmals an die von A. Meyer ausgesprochene Vermutung erinnert, der annimmt, es bestehe ein innerer Zusammenhang zwischen anatomischer Struktur der Wurzel und dem Bestreben der Pflanze, jeweilens nach Ablauf einer Vegetationsperiode die am Wurzelkopf angelegten Sproßknospen zur Überwinterung in den Boden hineinzuziehen. Leider war es

uns nicht möglich, näher auf diese Frage einzutreten, da das uns zur Verfügung stehende Material bis auf einige wenige Exemplare zur Feststellung der oben gegebenen Resultate aufgebraucht wurde. Wenn auch tatsächlich ein Hineinziehen des Wurzelkopfes in den Boden stattfindet, so kann das nicht immer als die Ursache zum anormalen Bau der Wurzel angesehen werden, denn auch die von uns untersuchten Wurzeln haben während mehrerer Jahre im Freien überwintert und müßten demnach den anormalen Bau aufweisen.

Ich behalte mir vor, später auf diese Verhältnisse zurückzukommen. Vielleicht gelingt es dann, unter bestimmten physiologischen Bedingungen auch unsere Pflanze zu den bekannten Wachstumserscheinungen zu zwingen und die Gründe hierfür kennen zu lernen.

Zusammenfassung der Resultate.

1. Keimung und Wachstum.

Durch Sprengen oder völliges Entfernen der Testa an der Samenspitze und Aussetzen des Samens auf mit Nährlösung befeuchtete Watte gelingt es, die hartschaligen Samen zu beschleunigter Keimung zu bringen. Für Kulturen von Senega, bei denen man vorläufig noch auf eine Vermehrung durch Samen angewiesen ist, hat diese leicht auszuführende Vorbehandlung eine gewisse Bedeutung.

Die bei uns gezogenen Pflanzen kamen erst im zweiten Jahr zum Blühen.

2. Wurzel.

Die Wurzel ist diarchen Ursprungs.

Die in der Literatur als Phelloderm bezeichnete Außenrinde der Wurzel kann nicht als solches angesprochen werden, da sie ihre Entstehung nicht dem Phellogen verdankt.

Wohl fanden sich Wurzelstücke, bei denen der Kambiumring nicht völlig gleichmäßig, auf dem Querschnitt kreisrund ist, sondern hier und da an den Markstrahlstellen nach innen zu einige Parenchymlagen erkennen läßt.

Diese Parenchymschichten sind aber derartig gering und unbedeutend, daß von einem anormalen Wachstum nicht gesprochen werden kann. Die von uns kultivierten sowie die aus

Amerika erhaltenen Wurzeln von Polygala Senega L. var. latifolia subspec. dentata zeigten normalen Bau des Holzkörpers.

Polygala Senega L. var. latifolia subspec. dentata kann als Stammpflanze der in der Droge je nach der Provenienz mehr oder weniger zahlreich sich findenden normalen Wurzelstücke angesehen werden.

3. Sproß.

Kurze Reste ehemaliger Blütensprosse bleiben als oberirdische stark verholzende, sich verzweigende Sproßbasen bestehen.

Zur Feststellung von Verunreinigungen des Drogenpulvers mit Stengelresten dienen die stark verdickten, weißglänzenden, unverholzten Bastfasern des Blütensprosses.

4. Blatt.

Das Mesophyll des Laubblattes von Polygala Senega L. var. latifolia besteht aus einer einreihigen Palisadenschicht und mehreren Lagen von Schwammgewebe; sklerenchymatische Elemente fehlen; Ausscheidungen von Kalziumoxalat sind nicht vorhanden.

Sowohl in den Blättern als auch in der assimilierenden Schicht der Sprosse konnte nach unmittelbar vorausgegangener Sonnenbestrahlung Stärke nachgewiesen werden.

5. Samen.

Die Testa des Samens von Polygala Senega var. latifolia wird gebildet durch das äußere Integument; Reste des inneren Integumentes sind noch zu finden an der Innenseite der Samenschale und in reichlicherer Menge in der Gegend der Mikropyle und der Chalaza.

Vita.

Ich, Emil Steiger aus Basel, wurde am 5. August 1892 in Basel geboren als Sohn des Dr. Emil Steiger, Apotheker von Basel, und dessen verstorbenen Gattin Emma, geb. Koenig, von Bern.

In Basel besuchte ich die Primarschule und das Gymnasium; im Frühjahr 1911 bestand ich die Maturitätsprüfung am obern Gymnasium in Basel. Darauf trat ich in der Apotheke meines Vaters in die Lehre, die ich 1914 mit der pharmazeutischen Gehilfenprüfung abschloß. Das anschließende Gehilfenjahr absolvierte ich zum größten Teil in Genf in der Pharmazie A. Brun. Vom Herbst 1915 an studierte ich zunächst 4 Semester an der Universität Basel, wo ich im Oktober 1917 das Staatsexamen als Apotheker machte. Darnach widmete ich mich der Ausarbeitung meiner Dissertation, die, unterbrochen durch wiederholten Militärdienst, im Juni 1919 abgeschlossen wurde

Während meiner Studienzeit besuchte ich die Vorlesungen und Praktika der Herren Professoren und Dozenten: Bally, Beuttner, Alb. Burckhardt, J. L. Burckhardt, Fichter, Hagenbach, Kreis, Rupe, Schmidt, Senn, Zörnig, Zschokke.

Allen sei für ihre Bemühungen bestens gedankt.

Druck von A. W. Hayn's Erben, Potsdam